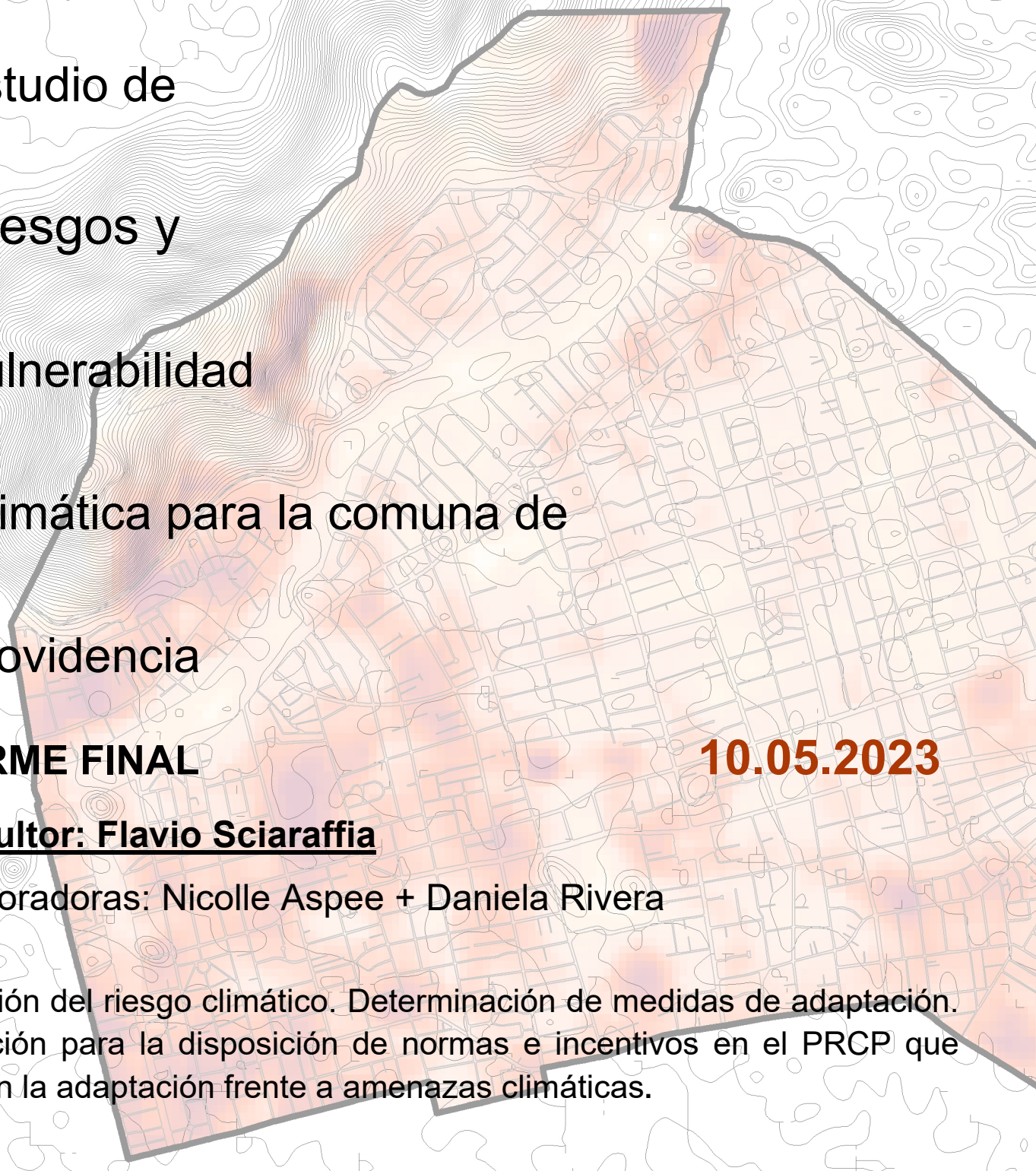
FROM THE SOUTH

+56 9 95439111
flavio@fromthesouth.cl
www.fromthesouth.cl

ERVCP

Estudio de
Riesgos y
Vulnerabilidad
Climática para la comuna de
Providencia



INFORME FINAL

10.05.2023

/ **Consultor: Flavio Sciaraffia**

/ Colaboradoras: Nicolle Aspee + Daniela Rivera

Evaluación del riesgo climático. Determinación de medidas de adaptación. Orientación para la disposición de normas e incentivos en el PRCP que propicien la adaptación frente a amenazas climáticas.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN 18

I. PREÁMBULO 19

1. Contexto 19
2. Alcance 19

II. OBJETIVOS 20

III. EQUIPO DE TRABAJO 20

IV. MARCO METODOLÓGICO GENERAL 21

a. Actividades clave 21

b. Etapas del estudio 21

E1. PRIORIZACIÓN DE AMENAZAS CLIMÁTICAS 23

I. PRIORIZACIÓN DE AMENAZAS CLIMÁTICAS 24

1. Reunión inicial y coordinación del taller de priorización 24
2. Identificación del listado preliminar de amenazas 24

a. Revisión documental y bibliográfica 24

b. Listado preliminar de amenazas 25

3. Taller de priorización de amenazas 26

a. Matriz de priorización 26

b. Forma de evaluación 26

c. Resultados de la priorización 27

Impactos extendidos 28

Impactos puntuales 28

E2. CONCEPTUALIZACIÓN DE COMPONENTES Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN 32

I. CONCEPTUALIZACIÓN DE COMPONENTES 33

1. Riesgo 33

a. Conceptualización 33

b. Aproximación analítica al riesgo 33

2. Amenaza 35

a. Conceptualización 35

b. Aproximación analítica a las amenazas 35

Caracterización 35

Índice general de amenaza 35

3. Exposición y vulnerabilidad 36

a. Conceptualización 36

b. Aproximación analítica a la exposición 37

Caracterización 37

Índice general de exposición 38

c. Aproximación analítica a la vulnerabilidad ... 38
Caracterización ... *38*
Índice general de vulnerabilidad ... *39*
II. LEVANTAMIENTO Y SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN ... 40
1. Determinación de las necesidades de información ... 40
a. Levantamiento ... 40
b. Formato de la información ... 41
c. Revisión y compilación ... 43
2. Sistematización ... 44
a. Listados de datos por componente del riesgo ... 44
Amenaza ... *44*
Exposición ... *45*
Vulnerabilidad ... *47*
E3. DETERMINACIÓN DE LAS AMENAZAS, EXPOSICIÓN Y VULNERABILIDAD ... 49
I. AMENAZAS CLIMÁTICAS ... 50
1. Inundación ... 50
a. Caracterización de la amenaza de inundación ... 50
Zonas potencialmente saturables ... *50*
Puntos críticos de invierno ... *53*
Eventos de inundación ... *55*
b. Claves para la gestión de la amenaza de inundación ... 55
2. Ola de calor ... 56
a. Caracterización de la amenaza de ola de calor ... 56
Registro de olas de calor ... *56*
Temperatura superficial ... *58*
b. Claves para la gestión de la amenaza de ola de calor ... 62
3. Sistema frontal ... 63
a. Caracterización de la amenaza de sistema frontal ... 63
Alertas meteorológicas ... *63*
b. Claves para la gestión de la amenaza de sistema frontal ... 67
4. Sequía ... 69
a. Caracterización de la amenaza de sequía ... 69
Índices de sequía meteorológica ... *69*
Decretos de escasez hídrica ... *72*
Tendencias de variables asociadas a la sequía a escala comunal ... *73*
b. Claves para la gestión de la amenaza de sequía ... 76
5. Índice general de amenaza ... 78
a. Construcción de índices normalizados por amenaza ... 78
b. Resultados del índice general de amenaza ... 80

II. EXPOSICIÓN DE LOS SISTEMA CRÍTICOS 83
1. Caracterización de los elementos expuestos 83
a. Caracterización del sistema crítico “personas” 84
Dimensión: Habitantes 84
b. Caracterización del sistema crítico “edificaciones” 85
Dimensión: Viviendas 85
c. Caracterización del sistema crítico “infraestructura y equipamiento” 86
Dimensión: Áreas verdes y recreación 86
Dimensión: Infraestructura vial 88
Dimensión: Infraestructura 92
Dimensión: Equipamiento comunal 96
2. Índice general de exposición 97
a. Construcción del índice general de exposición 97
b. Resultados del índice general de exposición 99
III. VULNERABILIDAD DE LOS SISTEMAS CRÍTICOS 101
1. Caracterización de la vulnerabilidad 101
2. Índice general de vulnerabilidad 104
a. Construcción del índice general de vulnerabilidad 104
b. Resultados del índice general de vulnerabilidad 106

E4. RIESGO COMUNAL Y MEDIDAS DE ADAPTACIÓN 109
I. RIESGO CLIMÁTICO 110
1. Determinación del riesgo climático 110
2. Determinación de zonas homogéneas de riesgo 112
a. Zonas homogéneas de riesgo a escala comunal 112
b. Zonas homogéneas de riesgo a escala de unidad vecinal 114
3. Identificación de áreas prioritarias para la gestión del riesgo climático 115
II. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN PARA LA RESILIENCIA COMUNAL 119
1. Criterios de selección de medidas 119
2. Fichas con medidas de adaptación 121
3. Medidas de adaptación 124
III. PERFILES DE RIESGO POR UNIDAD VECINAL 128
1. Estructura del perfil de riesgo 128
2. Criterios utilizados para la recomendación de medidas de adaptación 129
a. Síntesis estadística de las medidas recomendadas 130
3. Medidas recomendadas a escala comunal 132
4. Fichas con perfil de riesgo por unidad vecinal 133
IV. SIG CON PERFIL DE RIESGO Y MEDIDAS DE ADAPTACIÓN POR UNIDAD VECINAL 166
1. Estructura del SIG 166
2. Campos de atributos 166

3. Operatividad 169

ANEXO 1. FICHAS CON MEDIDAS DE ADAPTACIÓN 171

Zanjas de infiltración con vegetación (Bioswales) 172
Jardines de bioretención o jardines de lluvia (Bioretention, Raingardens) 173
Jardineras de aguas lluvias (Stormwater Planters) 174
Techos verdes (Green Roofs) 175
Área mínima de vegetación (AMV) para nuevos desarrollos (Green Area Ratio – GAR) 176
Pavimentos permeables 177
Sistemas de infiltración subterránea 178
Renaturalización de ribera y lecho de río 179
Arborización urbana priorizada 180
Techos fríos (Cool Roofs) 181
Pavimentos fríos (Cool Pavements) 182
Enfriamiento evaporativo mediante fuentes de agua recreativas 183
Planificación de sombras estructurales 184
Planificación de sombras naturales 185
Enfriamiento pasivo en edificaciones 186
Enfriamiento activo en edificaciones 187
Puntos de hidratación 188
Reducción del uso del automóvil particular 189
Acuerdos voluntarios para modificar horario laboral 190
Plan de acción para ocupaciones al aire libre durante olas de calor 191
Ordenanza de temperatura máxima al interior de viviendas 192
Refugios climáticos (Climate Shelters, Cooling Centers) 193
Refugios climáticos temporales (Pop-up Heat Relief) 194
Sistema de alerta temprana para temperaturas extremas y olas de calor 195
Incentivar la arborización en predios privados 196
Protección de árboles durante faenas de construcción 197
Coordinación de medidas de arborización y paisajismo con viveros locales 198
Reacondicionamiento de edificios para el confort térmico 199
Monitoreo de la percepción del riesgo frente a olas de calor 200
Programa de concientización para olas de calor 201
Plazas de bolsillo optimizadas como área verde de alta cobertura arbórea 202
Paraderos optimizados para el calor 203
Área mínima de sombra (Shade Factor) 204
Incentivar la conservación de masas boscosas en terrenos privados 205
Conservación de corredores fríos y de ventilación 206
Reutilización de aguas grises en nuevos desarrollos 207
Directrices para el diseño de proyectos de paisajismo adaptados al cambio climático (Climate-Proof Garden) 208

Recolección de aguas lluvias 209
Programas de concientización para la gestión hídrica domiciliaria 210
Manejo optimizado del riego de áreas verdes por parte de vecinos 211
Monitoreo y detección de fugas en la red de agua potable 212
Monitoreo del nivel freático y evapotranspiración 213
Artefactos sanitarios de bajo consumo 214
Implementar sistemas de telegestión para riego de áreas verdes 215
Incentivar la gestión del recurso hídrico en el sector privado 216
Propiciar alturas máximas proporcional al ancho de calle 217
Podar o quitar árboles y ramas muertas, dañadas o podridas 218

ANEXO 2. ENTREGABLES DIGITALES: SISTEMA DE GESTIÓN SIG Y ESTADÍSTICAS EXCEL 219

I. ORGANIZACIÓN DE LOS ENTREGABLES DIGITALES 220

II. ENTREGABLES DIGITALES 220

1. Sistema de gestión SIG 220
2. Estadísticas en Excel 225

REFERENCIAS 227

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Actividades clave del estudio..... 21
- Figura 2. Estructura de los ejes de la matriz de priorización. Fuente: elaboración propia. 26
- Figura 3. Rúbrica de evaluación. Fuente: elaboración propia..... 26
- Figura 4. Ejemplo esquemático de la matriz con valores de evaluación. Fuente: elaboración propia. 27
- Figura 5. Matriz de resultados para Infraestructuras. Fuente: elaboración propia. 29
- Figura 6. Matriz de resultados para Servicios y Equipamientos. Fuente: elaboración propia. 30
- Figura 7. Matriz de resultados para Actividades Económicas y Sector Demográfico. Fuente: elaboración propia..... 31
- Figura 8. Sistemas críticos considerados. Fuente: elaboración propia..... 36
- Figura 9. Ejemplo tres tipos de datos *shapefile.* Fuente: elaboración propia en base a dato compilado. 42
- Figura 10. Estructura de un archivo *raster*. Fuente: ESRI. 42
- Figura 11. Ejemplo de tabla de atributos para un *shapefile* (arriba) y tabla en formato Excel (abajo). Fuente: elaboración propia en base a dato compilado. 43
- Figura 12. Softwares utilizados y estructura de carpetas de la compilación de los datos levantados. Fuente: elaboración propia. 43
- Figura 13. Zonas potencialmente saturables. Fuente: elaboración propia en base a modelación de estudio ECV..... 51
- Figura 14. Porcentaje de la superficie de unidades vecinales afectadas por amenaza de inundación según clases de zonas potencialmente saturables. Fuente: elaboración propia en base estudio ECV. 52
- Figura 15. Mapa de referencia con unidades vecinales (UV). Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia..... 52
- Figura 16. Precipitación mensual para Santiago año 2021 comparado con el promedio 1961-1990. Fuente: elaboración propia en base a datos de la DMC. 53
- Figura 17. Mapa de puntos críticos de invierno 2021-22 asociados a inundación o eventos asociados a inundación. Fuente: elaboración propia en base a datos de ONEMI (SENAPRED). 54
- Figura 18. Relación entre eventos de inundación y precipitación anual en la RM. Fuente: elaboración propia en base a datos de DMC y DESINVENTAR. 55
- Figura 19. Olas de calor entre 2001-2022 para Santiago (Estación Quinta Normal). Fuente: elaboración propia en base a datos de la DMC. 56

- Figura 20. Ocurrencia de olas de calor por mes entre 2001-2002 para Santiago (Estación Quinta Normal). Fuente: elaboración propia en base a datos de la DMC. 57

- Figura 21. Temperatura superficial de inicio de ola de calor más intensa registrada el 24 de enero de 2019. Fuente: elaboración propia en base a imágenes multiespectrales Landsat 8. 58

- Figura 22. (arriba). Temperatura superficial del inicio y fin de la ola de calor más intensa registrada el 24 de enero de 2019. Fuente: elaboración propia en base a imágenes multiespectrales Landsat 8 . 59

- Figura 23. (arriba). Mapa de referencia con zonas de vegetación: parques, plazas y arboledas. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia. 59

- Figura 24. Mapa de referencia con coberturas de suelo. Fuente: elaboración propia en base a datos de Sentinel 2..... 60

- Figura 25. (arriba der.). Ranking de temperatura máxima por UV. Fuente: elaboración propia. 61

- Figura 26. Mapa de referencia con unidades vecinales (UV). Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia..... 61

- Figura 27 .Análisis de ganancia o pérdida de vigor en la cobertura arbórea de parques urbanos mediante la diferencia de los índices de vegetación (NDVI) entre 2018-2020. Fuente: elaboración propia en base a imágenes Sentinel 2..... 62

- Figura 28. Precipitación promedio mensual 1967-2022 (Estación Quinta Normal). Fuente: elaboración propia en base datos de la DMC. 63

- Figura 29. Velocidad y dirección de los vientos para los años 2000 (arriba) y 2022 (abajo). Fuente: Estación Quinta Normal, DMC..... 64

- Figura 30. Velocidad y dirección de los vientos predominantes para Santiago. Fuente: Meteoblue. . 64

- Figura 31. Número de alarmas, alertas y avisos por año (2015-22). Fuente: elaboración propia en base a datos de la DMC. 65

- Figura 32. Distribución de alertas y alarmas por mes según registro para el período entre 2015-22. Fuente: elaboración propia en base a datos de la DMC. 65

- Figura 33. Registro de avisos, alertas y alarmas según su origen o causa meteorológica para los años 2015-2022. Fuente: elaboración propia en base a datos de la DMC..... 66

- Figura 34. Proporción de avisos, alertas y alarmas según su origen o causa meteorológica. Fuente: elaboración propia en base a datos de la DMC. 66

- Figura 35.(arriba) Parámetros morfológicos de un cañón urbano. (medio) Generación de turbulencias (movimiento cilíndrico paralelo al suelo) y vórtices (movimiento cilíndrico perpendicular al suelo) con viento perpendicular al cañón. (abajo) Flujo de aire en un cañón arborizado. Fuente: Yazid et al..... 67

- Figura 36. Índice de Sequía de Palmer (PDSI) con valores anuales (12 meses) entre 2000-2019 para Santiago. Fuente: elaboración propia en base a datos del CR2..... 70

- Figura 37. Índice de Sequía Estandarizada con valore anuales (12 meses) para la estación Quinta Normal entre 2000-2021. Fuente: elaboración propia en base a datos DMC. 70

- Figura 38. Evolución del índice SPI acumulado a 1, 3, 6, 12 meses al año 2020 y acumulado a 24, 36 y 48 meses (Rango 2016-2020). Fuente: modificado de la DMC. 71

- Figura 39. (abajo). Total de decretos de escasez por año entre 2008-22. Fuente: elaboración propia en base a datos DGA. 72

- Figura 40. Aumento en °C de la temperatura superficial a nivel comunal entre 2013-2022. Fuente: elaboración propia en base a imágenes satelitales Landsat 8. 73

- Figura 41. Tendencia de la precipitación promedio diaria anual entre 1981-2022. El mapa muestra la disminución diaria. Fuente: elaboración propia en base a datos CHIRPS..... 74

- Figura 42. Tendencia del valor de NDVI (salud de vegetación) promedio entre 2000-2022. Considerar que los valores del mapa muestran el valor de aumento o disminución del índice entre las fechas analizadas. Las zonas sin variación se muestran en color amarillo. Fuente: elaboración propia en base imágenes satelitales Landsat 7. 75

- Figura 43. NDVI febrero 2018, 2020, 2022 para arboledas de Providencia. Fuente: elaboración propia en base a imágenes Sentinel 2. 77

- Figura 44. Proceso de normalización para la amenaza de ola de calor. Arriba: análisis de temperatura superficial para ola de calor más intensa. Abajo: normalización de los datos de temperatura superficial entre 0 y 1..... 79

- Figura 45. Proceso de normalización para la amenaza de inundación. Arriba: zonas potencialmente saturables por clases de peligro. Abajo: normalización de los datos de zonas potencialmente saturables entre 0 y 1..... 79

- Figura 46. Índice general de amenaza (normalizado). Fuente: elaboración propia. 80

- Figura 47. Índice de amenaza en clases y gráfico de superficie comunal bajo cada clase de amenaza. Notar que hay 5 ha (0,3%) no contabilizadas producto de la resolución del análisis (pixeles en los bordes). Fuente: elaboración propia. 81

- Figura 48. Porcentaje de la superficie de unidades vecinales afectadas por clases de amenaza. Fuente: elaboración propia. 82

- Figura 49. Mapa de referencia con unidades vecinales (UV). Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia..... 82

- Figura 50. Habitantes por manzana. Fuente: elaboración propia en base a Censo 2017. 84

- Figura 51. Porcentaje de habitantes expuestos a distintos niveles de amenaza. Fuente: elaboración propia..... 84

- Figura 52. Viviendas por manzana. Fuente: elaboración propia en base a Censo 2017. 85

- Figura 53. Porcentaje de viviendas expuestas a distintos niveles de amenaza. Fuente: elaboración propia..... 85

- Figura 54. Plazas, parques y zonas de juegos infantiles Fuente: elaboración propia en base a ECV e información de la Municipalidad de Providencia. 86
- Figura 55. Porcentaje de área de parque expuesta a distintos niveles de amenaza. Fuente: Elaboración propia. 87
- Figura 56. Porcentaje de área de plaza expuesta a distintos niveles de amenaza. Fuente: Elaboración propia. 87
- Figura 57. Porcentaje de zonas de juegos infantiles expuesta a distintos niveles de amenaza. Fuente: Elaboración propia. 87
- Figura 58. Trazado de ciclovías. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia 88
- Figura 59. Trazado de calles según tipología. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia. 89
- Figura 60. Ubicación de paraderos. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia. 90
- Figura 61. Porcentaje de la red (longitud) de ciclovías expuesta a distintos niveles de amenaza. Fuente: Elaboración propia. 91
- Figura 62. Porcentaje de la red (longitud) vial expuesta a distintos niveles de amenaza. Fuente: Elaboración propia. 91
- Figura 63. Porcentaje de los paraderos expuesta a distintos niveles de amenaza. Fuente: Elaboración propia. 91
- Figura 64. Cobertura arbórea de las arboledas de la comuna. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia 92
- Figura 65. Localización de fuentes y piletas. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia. 93
- Figura 66. Luminarias urbanas Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia. 94
- Figura 67. Porcentaje del área de cobertura arbórea expuesta a distintos niveles de amenaza. Fuente: Elaboración propia. 95
- Figura 68. Porcentaje de fuentes y piletas expuestas a distintos niveles de amenaza. Fuente: Elaboración propia. 95
- Figura 69. Porcentaje de luminarias expuestas a distintos niveles de amenaza. Fuente: Elaboración propia. 95
- Figura 70. Localización del equipamiento comunal. Fuente: elaboración propia en base a datos de la M. de Providencia. 96

- Figura 71. Porcentaje de equipamientos expuestos a distintos niveles de amenaza. Fuente: Elaboración propia. 97
- Figura 72. Proceso de construcción del índice general de exposición. Resultado normalizado entre 0 y 1. Fuente: elaboración propia. 98
- Figura 73. Índice general de exposición en clases y gráfico de superficie comunal bajo cada clase de exposición. Fuente: elaboración propia. 99
- Figura 74. Porcentaje de la superficie de unidades vecinales según nivel de exposición. Fuente: elaboración propia. 100
- Figura 75. Mapa de referencia con unidades vecinales (UV). Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia 100
- Figura 76. Estructura de los componentes de la vulnerabilidad. Fuente: elaboración propia. 101
- Figura 77. Proceso de construcción del índice general de vulnerabilidad. La vulnerabilidad general es el resultado de la combinación de la vulnerabilidad de cada sistema crítico. Resultado normalizado entre 0 y 1. Fuente: elaboración propia. 105
- Figura 78. Índice general de vulnerabilidad por clases y gráfico de superficie comunal bajo cada clase de vulnerabilidad. Fuente: elaboración propia. 106
- Figura 79. Porcentaje de la superficie de unidades vecinales según nivel de vulnerabilidad. Fuente: elaboración propia. 107
- Figura 80. Mapa de referencia con unidades vecinales (UV). Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia 107
- Figura 81. Vulnerabilidad por sistema crítico y unidad vecinal. Valores van de 0 (menor vulnerabilidad) a 1 (mayor vulnerabilidad). Fuente: elaboración propia. 108
- Figura 82. Cantidad de variables computadas para calcular el riesgo climático. Fuente: elaboración propia 110
- Figura 83. Proceso de construcción del riesgo. Resultado normalizado entre 0 y 1, a mayor valor mayor es el riesgo Fuente: elaboración propia. 111
- Figura 84. Histograma: distribución de la frecuencia de los valores de riesgo normalizado. Fuente: elaboración propia. 112
- Figura 85. Quiebres estadísticos para las clases de zonas homogéneas de riesgo. Fuente: elaboración propia 112
- Figura 86. Zonas homogéneas de riesgo y gráfico de superficie comunal bajo cada clase. Fuente: elaboración propia. 113
- Figura 87. Porcentaje de la superficie de unidades vecinales según zona homogénea de riesgo. Fuente: elaboración propia. 114

- Figura 88. Mapa de referencia con unidades vecinales (UV). Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia..... 114
- Figura 89. Zonas homogéneas de riesgo muy alto. Fuente: elaboración propia. 115
- Figura 90. Zonas homogéneas de riesgo alto y muy alto. Fuente: elaboración propia..... 115
- Figura 91. Resultados de escenarios de priorización. Gráfico muestra la superficie en hectáreas que cumple o no con las condiciones. Fuente: elaboración propia. 116
- Figura 92. Áreas prioritarias para la gestión del riesgo climático. Fuente: elaboración propia. 117
- Figura 93. Porcentaje de la superficie de unidades vecinales que es área prioritaria para la gestión del riesgo. Fuente: elaboración propia. 118
- Figura 94. Mapa de referencia con unidades vecinales (UV). Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia..... 118
- Figura 95. Ficha tipo para medidas de adaptación. Fuente: elaboración propia. 123
- Figura 96. Medidas de adaptación según amenaza primaria, secundaria y terciaria. Fuente: elaboración propia..... 124
- Figura 97. Medidas de adaptación según tipo. Fuente: elaboración propia..... 124
- Figura 98. Medidas de adaptación según ámbito espacial. Fuente: elaboración propia. 124
- Figura 99. Perfil del tipo de medida recomendada según unidad vecinal. Fuente: elaboración propia. 130
- Figura 100. Ámbito espacial primario de las medidas recomendadas. Fuente: elaboración propia. 130
- Figura 101. Cantidad de medidas según capacidad de reducción de riesgo. La escala de colores indica el nivel de reducción del riesgo. Las etiquetas numéricas en las barras indican la cantidad de medidas en cada nivel. Fuente: elaboración propia. 131
- Figura 102. Estructura de archivos para el perfil de riesgo. Fuente: elaboración propia. 166
- Figura 103. Visualización del archivo vectorial “perfil_riesgo_uv”. Fuente: elaboración propia. 169
- Figura 104. Ícono para una clase de relación. Fuente: elaboración propia. 169
- Figura 105. Clase de relación para explorar medidas de adaptación de unidades vecinales. Fuente: elaboración propia. 170
- Figura 106. (izq) Bioswale en calle. Fuente: Mark M. Holeman Inc. 172
- Figura 107. (der) Esquema isométrico de un Biowsale. Fuente: Sponge Collaborative. 172
- Figura 108. (izq) Jardín de lluvia en el espacio público. Fuente: Earthwatch. 173

- Figura 109. (der) Corte esquemático de jardín de lluvia. Fuente: Toronto and Region Conservation Authority. 173
- Figura 110. (izq) Stormwater Planter en Portland, EEUU. Fuente: Portland.gov..... 174
- Figura 111. (der) Esquema isométrico de un Stormwater Planter. Fuente: Sponge Collaborative... 174
- Figura 112. (izq) Techo verde en New York. Fuente: The Nature Conservancy. 175
- Figura 113. (der) Componentes de un techo intensivo. Fuente: Greenroofs.com 175
- Figura 114. (izq) Fórmula para cálculo de AMV. 176
- Figura 115. (der) Ejemplo de cálculo de AMV con multiplicadores. Fuente: DC.gov..... 176
- Figura 116. (izq) Distintos tipos de pavimentos permeables. Fuente: Sprouse et. Al. (2020)..... 177
- Figura 117. (der) Corte de un sistema de pavimento permeable. Fuente: Caltrans. 177
- Figura 118. (sup) Dos tipos de infiltración subterránea. Fuente: MA Stormwater Handbook. 178
- Figura 119. (inf) Ejemplo de infiltración subterránea tipo tubería perforada. Fuente: Caltrans..... 178
- Figura 120. (izq) Esquema programático de una renaturalización. Fuente: GFDRR, World Bank. .. 179
- Figura 121. (inf) Servicios y beneficios de la renaturalización. Fuente: GFDRR, World Bank..... 179
- Figura 122. (inf) Servicios ecosistémicos de la arborización. Fuente: GFDRR, World Bank. 180
- Figura 123. (izq sup) Techo techos fríos. Fuente: JLC Online, Waterproof Magazine. 181
- Figura 124. (izq Inf) Ahorros cada 90m2 de techo frío en ciudades de EEUU. Valor neto incorpora los gastos adicionales por la pérdida de calor en invierno producto del techo frio. Fuente: EPA..... 181
- Figura 125. (der) Balance energético techo convencional vs techo frío. Fuente: coolrooftoolkit.org 181
- Figura 126. (sup) Balance para 3 tipos de pavimento: SW↓ - SW↑ + LW = G + H + LE, donde SW↓, SW↑, LW, G, H y LE denotan la radiación solar descendente, la radiación solar ascendente (reflejada), la radiación de onda larga neta, la conducción de calor, el flujo de calor sensible y el flujo de calor latente, respectivamente. Fuente: Wang et al. 182
- Figura 127. (inf) Aplicación de revestimiento reflectante. Fuente: IRF. 182
- Figura 128. (izq. sup) Parque Te Boelaerpark, Antwerp, Bélgica. Fuente: WLA. 183
- Figura 129. (der sup) Parque Water Circle, Normal, Illinois (Detalle A). Fuente: Urban Blue Grids. 183
- Figura 130. (izq inf) Sistema de fitodepuración Water Circle. Fuente: Urban Blue Grids. 183
- Figura 131. (der inf) Parque Water Circle, Normal, Illinois (Detalle B). Fuente: Urban Blue Grids ... 183

- Figura 132. Tipos de sombras estructurales. Fuente: Plan de sombras Tel Aviv. 184
- Figura 133. Diversas calidades de sombra dadas por las características de la especie seleccionada y tabla con criterios para evaluar calidad de sombra. Fuente: Plan de sombras Tel Aviv. 185
- Figura 134. Cinco estrategias para una vivienda pasiva. Fuente: PassivHaus 186
- Figura 135. Esquema funcionamiento de aire acondicionado. Fuente: caloryfrio.com 187
- Figura 136. (izq) Grifo de calle adaptado como punto de hidratación (New York). Fuente: dezeen.com 188
- Figura 137. (der) Grifo de calle con punto de hidratación como función adicional. Fuente: dezeen.com 188
- Figura 138. Flujo de calor diurno (Watts/m2) desde pavimentos y vehículos. Se observa que los vehículos en autopistas contribuyen al mayor flujo, comparativamente con vehículos en otras tipologías de calles. Estos resultados son para la ciudad de Phoenix, por lo que los resultados están asociados a la morfología urbana y patrones de movilidad de dicha ciudad. Fuente: Hoehne et al. (2020) 189
- Figura 139. Horas de trabajo perdidas por estrés relacionado al calor por sector económico para 1995 y 2030 (proyección). Fuente: International labor Organization. 190
- Figura 140. Actividades de planificación para eventos de altas T°. Fuente: Heatwave Planning Guide. Victoria Department of Human Services. 191
- Figura 141. Ocurrencia de olas de calor por mes entre 2001-2002. Fuente: elaboración propia en base a datos de la DMC. 192
- Figura 142. (izq) Cooling Center, Boston. Fuente: Heat resilience solutions for Boston. 193
- Figura 143. (der) Refugio climático de uso múltiple en Barcelona. Fuente: Barcelona.cat 193
- Figura 144. (izq) Cooling Spots, Boston. Fuente: Heat resilience solutions for Boston. 194
- Figura 145. (izq) Estación meteoróligca personal. Fuente: AcuRite. 195
- Figura 146. (der) Sensores móviles de temperatura, Boston. Fuente: Heat resilience solutions for Boston. 195
- Figura 147. (izq) Estrategias para diversas escalas de infraestructura verde desde barrio hasta predio privado. Fuente: Outi Tahvonen (2018). 196
- Figura 148. Mejores prácticas para protección de árboles en sitios de construcción. Fuente: Oregon State University. 197
- Figura 149. Estándar de tamaño y trasplante según la normativa de la ciudad de Montreal. Fuente: Strathmore Landscape Management (Aliza Sovani), Desde el sur: Perspectivas globales sobre el paisaje y territorio (2019). 198
- Figura 150. Escenarios de costos y ahorros para mejoras en techos, pisos, muros y ventanas. Fuente: Manual de (Re)Acondicionamiento Térmico, CChC. 199

- Figura 151. Resultados para una encuesta en torno a la percepción de calor en Boston. Resultados por etnicidad. Fuente: Heat resilience solutions for Boston. 200
- Figura 152. Mesa informativa del plan informativo para olas de calor de Boston. Fuente: Heat resilience solutions for Boston. 201
- Figura 153. Paley Park, New York. Notar que el espacio está cubierto por la copa de los árboles y posee una cascada de agua que actúa como mecanismo de enfriamiento evaporativo. Fuente: Google. 202
- Figura 154. (izq) Paraderos optimizados en Białystok, Poland. Fuente: Lifetreecheck.eu 203
- Figura 155. (der) Temperatura superficial de la ola de calor más intensa registrada (24 de enero de 2019) y localización paraderos. Fuente: elaboración propia..... 203
- Figura 156. Requerimientos (factor) de sombra por tipología de espacio y análisis de sombra para determinar si cumplen o no con el factor. Fuente: Plan de sombras Tel Aviv. 204
- Figura 157. Zonas de bosque de un patio trasero: A = emergente, B = dosel, y C = sotobosque y cubresuelos. 1 = árbol maduro, 2 = arbusto denso, 3 = hotel de insectos, 4 = flores, abejas y mariposas, 5 = acolchado de hojas, 6 = estanque, 7 = rocas y troncos, 8 = caja anidera, 9 = árboles pequeños. Fuente: Environment.nsw.gov.au 205
- Figura 158. Corredores arbolados (superficie cubierta por copa de árboles) de la comuna de Providencia. Fuente: Elaboración propia. 206
- Figura 159. (izq) Calidad de aguas grises para usos urbanos según el Reglamento Ley 21.07: Fuente: Ministerio de Salud. 207
- Figura 160. (der) Humedal depurador de aguas grises. Fuente: Bioantu. 207
- Figura 161. Guía de jardines sustentables. Fuente: Municipalidad de Providencia..... 208
- Figura 162. (der) Sistema de recolección con estanque subterráneo Fuente: Flavio Sciaraffia (Deserta). 209
- Figura 163. (sup) Consumo de agua por uso o sector desde marzo 2017 a febrero de 2018. Fuente elaboración propia en base a Estrategia Hídrica Local, Municipalidad de Providencia. 210
- Figura 164. (inf) Consumo por uso o sector 2017-18, Providencia. Fuente elaboración propia en base a Estrategia Hídrica Local, Municipalidad de Providencia. 210
- Figura 165. Ejemplo de cálculo de demanda de riego utilizando parámetros de evapotranspiración diaria. Fuente: Huerto Orgánico Regenerativo Biointensivo, Huerto Cuatro Estaciones. 211
- Figura 166. (sup) Consumo municipal anual por sector (2017). Fuente: Estrategia Hídrica Local, Municipalidad de Providencia. 212
- Figura 167. (inf) Agua no facturada principales sanitarias (2019-20) Fuente: Diario Financiero. 212
- Figura 168. (sup) Evapotranspiración diaria para estaciones en la RM. Fuente: Red Agrometeorológica, INIA..... 213

- Figura 169. (inf) Evapotranspiración diaria Estación Quinta Normal entre nov-2022 – mar-2023. Fuente: Red Agrometeorológica, INIA. 213

- Figura 170. Comparativo de diversos WC vs uno eficiente. Fuente: Wáter-saver.org 214

- Figura 171. Parques y plazas con sistema de telgestión del riesgo según datos de la Municipalidad. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia. 215

- Figura 172. El sector comercial comprende el 40% del consumo de agua Comunal (2017-18) Fuente: Estrategia Hídrica Local Municipalidad de Providencia. 216

- Figura 173. (sup) Parámetros morfológicos de un cañón urbano. Fuente Yazid et al. 217

- Figura 174. (inf) Generación de turbulencias (movimiento cilíndrico paralelo al suelo) y vórtices (movimiento cilíndrico perpendicular al suelo) con viento perpendicular al cañón urbano. Fuente Yazid et al. 217

- Figura 175. Distribución territorial de la concentración de defectos en el arbolado urbano. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia. 218

- Figura 176. Estructura de carpeta de los entregables digitales. Fuente: elaboración propia..... 220

- Figura 177. Estructura de carpeta y subcarpetas de productos geoespaciales. Fuente: Elaboración propia..... 220

- Figura 178. Archivos en formato Excel. Fuente: Elaboración propia. 225

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Zonas potencialmente saturables. Fuente: elaboración propia en base a modelación de estudio ECV..... 20
- Tabla 2. Definición de dimensión y componente para exposición y vulnerabilidad de los sistemas críticos. Fuente: elaboración propia..... 37
- Tabla 3. Dimensiones y componentes en el contexto de la exposición. Fuente: elaboración propia. 37
- Tabla 4. Dimensiones y componentes en el contexto de la vulnerabilidad. Fuente: elaboración propia. 39
- Tabla 5. Procesos de levantamiento de información. Fuente: elaboración propia..... 41
- Tabla 6. Datos sistematizados y armonizados para el componente “amenaza”. Fuente: elaboración propia..... 45
- Tabla 7. Datos sistematizados y armonizados para el componente “exposición”. Fuente: elaboración propia..... 46
- Tabla 8. Datos sistematizados y armonizados para el componente “vulnerabilidad”. Fuente: elaboración propia..... 48
- Tabla 9. Temperatura superficial (°C) por cobertura de suelo. Fuente: elaboración propia. 60
- Tabla 10. (arriba izq.). Temperatura superficial (°C) por unidad vecinal. Fuente: elaboración propia. 61
- Tabla 11. (arriba). Decretos de escasez por comuna entre 2008-22. Fuente: elaboración propia en base a datos DGA. 72
- Tabla 12. Impactos potenciales de la sequía a nivel local considerando efectos regionales. Fuente: elaboración propia. 76
- Tabla 13. Tratamiento de la normalización según los datos disponibles. Fuente: elaboración propia.78
- Tabla 14. Dimensiones y componentes en el contexto de la exposición. Fuente: elaboración propia.83
- Tabla 15. Parámetros de caracterización de componentes de vulnerabilidad. Fuente: elaboración propia..... 104
- Tabla 16. Escenarios para la identificación de áreas prioritarias. Fuente: elaboración propia. 116
- Tabla 17. Documentos revisados para la selección de medidas de adaptación. Fuente: elaboración propia..... 120
- Tabla 18. Rúbrica de evaluación para medidas de adaptación. Fuente: elaboración propia..... 122
- Tabla 19. Tabla con medidas de adaptación. Fuente: elaboración propia..... 127

- Tabla 20. Amenazas abordadas por las medidas de adaptación recomendadas en cada UV. Fuente: elaboración propia. 131
- Tabla 21. Medidas de adaptación priorizadas para ser implementadas a escala comunal. Fuente: elaboración propia. 133
- Tabla 22. Perfil de riesgo UV 1. Fuente: elaboración propia. 135
- Tabla 23. Perfil de riesgo UV 2. Fuente: elaboración propia. 137
- Tabla 24. Perfil de riesgo UV 3. Fuente: elaboración propia. 139
- Tabla 25. Perfil de riesgo UV 4. Fuente: elaboración propia. 141
- Tabla 26. Perfil de riesgo UV 5. Fuente: elaboración propia. 143
- Tabla 27. Perfil de riesgo UV 6. Fuente: elaboración propia. 145
- Tabla 28. Perfil de riesgo UV 7. Fuente: elaboración propia. 147
- Tabla 29. Perfil de riesgo UV 8. Fuente: elaboración propia. 149
- Tabla 30. Perfil de riesgo UV 9. Fuente: elaboración propia. 151
- Tabla 31. Perfil de riesgo UV 10. Fuente: elaboración propia. 153
- Tabla 32. Perfil de riesgo UV 11. Fuente: elaboración propia. 155
- Tabla 33. Perfil de riesgo UV 12. Fuente: elaboración propia. 157
- Tabla 34. Perfil de riesgo UV 13. Fuente: elaboración propia. 159
- Tabla 35. Perfil de riesgo UV 14. Fuente: elaboración propia. 161
- Tabla 36. Perfil de riesgo UV 15. Fuente: elaboración propia. 163
- Tabla 37. Perfil de riesgo UV 16. Fuente: elaboración propia. 165
- Tabla 38. Archivos en la geodatabase “Perfiles_Riesgos.ddb”. Fuente: elaboración propia. 166
- Tabla 39. Campos de atributos del archivo vectorial con el perfil de riesgo de las unidades vecinales. Fuente: elaboración propia. 168
- Tabla 40. Campos de atributos de la tabla con medidas de adaptación recomendadas por UV. Fuente: elaboración propia. 169
- Tabla 41. Descripción de los archivos geoespaciales. Fuente: elaboración propia. 224
- Tabla 42. Descripción de los archivos Excel. Fuente: Elaboración propia. 226

Introducción

I. PREÁMBULO

El presente estudio se denomina **Estudio de riesgos y vulnerabilidad climática para la Comuna de Providencia (ERVCP),** asignado por contratación directa al consultor Flavio Sciaraffia Márquez en 2022 por la Municipalidad de Providencia, mediante la Orden de Compra N°: 2490-322-SE22 del 8 de septiembre de 2022.

1. Contexto

Los patrones de variabilidad climática han provocado una intensificación en la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos, generando impactos negativos en los sistemas territoriales. Por este motivo, a nivel internacional la agenda climática demanda trabajo multisectorial a diversas escalas de acción, ante lo cual los gobiernos locales asumen compromisos en torno a los principales desafíos de adaptación climática. La multisectorialidad de los equipos de planificación municipal y la cercanía de los gobiernos locales a la ciudadanía, ponen en un plano central el rol que estos juegan en la identificación de necesidades de adaptación local, puesto que es a esta escala donde los impactos generan consecuencias que requieren respuestas urgentes y dirigidas.

2. Alcance

Asumiendo los desafíos de la agenda climática, la Municipalidad de Providencia ha solicitado un diagnóstico territorial para entender las dinámicas de riesgo climático que existen en la comuna, el que, sumado a otros esfuerzos, apoyará la gestión local para reducir la vulnerabilidad al cambio climático. Lo anterior, requiere un análisis continuo que integre el conocimiento de los componentes que conforman el riesgo climático, particularmente desde las condiciones de vulnerabilidad y su expresión en el territorio comunal. La identificación de zonas de riesgo permitirá asociar medidas de adaptación específicas para reducir la vulnerabilidad de los sistemas críticos comunales ante amenazas climáticas.

Así, el ERVCP se configura como una herramienta de gestión para asistir a la planificación local en la identificación y priorización de medidas de adaptación, las que podrán tener una expresión normativa en el PRCP en forma de incentivos, compensaciones u otros mecanismos afines.

II. OBJETIVOS

- **O1.** Realizar un diagnóstico territorial para detectar el riesgo comunal a partir del análisis de amenazas, exposición de sistemas críticos y su vulnerabilidad. El riesgo comunal se utilizará como un insumo para la determinación de incentivos, posibles compensaciones y herramientas de gestión a ser incorporadas en el Plan Regulador Comunal (PRCP 2007) u otros instrumentos de la comuna de Providencia.

- **O2.** Determinar áreas homogéneas de riesgo climático para orientar la disposición de normas e incentivos en el PRCP que propicien la adaptación frente a amenazas climáticas.

- **O3.** Vincular las áreas homogéneas con medidas de adaptación específicas que permitirán a la Municipalidad disminuir la vulnerabilidad de sistemas críticos comunales frente a las amenazas.

III. EQUIPO DE TRABAJO

El responsable del estudio es Flavio Sciaraffia Márquez, consultor especializado en planificación territorial, diagnósticos socioambientales y planes de cambio climático y con extensa experiencia en la gerencia técnica de estudios complejos con componentes analíticos orientados a informar la gestión de instituciones, políticas y programas. Adicionalmente, el estudio contó con el apoyo y colaboración de dos profesionales altamente capacitadas en las temáticas abordadas.

Nombre	Rol	Experiencia	Grados
Flavio Sciaraffia	**Consultor** Jefe de proyecto y coordinador técnico.	Consultor con 11+ años de experiencia en la coordinación técnica, administración y ejecución de proyectos de consultoría e investigación en desarrollo y planificación sustentable mediante la aplicación de modelos analítico-prospectivos que permiten direccionar insumos técnico-científicos hacia la generación de políticas públicas y herramientas de planificación y gestión territorial.	• Arquitecto y Máster en Proyecto Urbano PUC. • Master in Landscape Architecture Harvard GSD. • Cornell University Fellow.
Nicolle Aspee	**Colaboradora** Especialista en riesgo, análisis SIG y planificación comunal.	Analista y consultora con 8 años de experiencia en sustentabilidad urbano-territorial mediante la integración de SIG y modelos de gestión, planificación y gestión comunal, desarrollo sustentable aplicado a la planificación y desarrollo de indicadores geográficos.	• Geógrafa PUC. • MSc Environment & Sustainable Development, University College London. • PhD Geography, University College London (en curso).
Daniela Rivera	**Colaboradora** Especialista en análisis territorial en SIG.	Analista con 6 años de experiencia en percepción remota, geoprocesamientos, modelación espacial de índices socioambientales, modelación en código abierto Phyton y Google Earth Engine y bases de datos.	• Geógrafa PUC. • MSc in Applied Geographical Information Systems & Remote Sensing, University of Southampton. • PhD in Geography, University of Southampton (en curso).

Tabla 1. Zonas potencialmente saturables. Fuente: elaboración propia en base a modelación de estudio ECV.

IV. MARCO METODOLÓGICO GENERAL

La estructura metodológica se basa en una concatenación lógica de actividades de acuerdo al estándar técnico para evaluaciones de riesgo climático y adaptación. La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de Desastre define el riesgo como una función de la amenaza, la exposición de bienes y personas a la amenaza y las condiciones de vulnerabilidad de los elementos expuestos (UNISDR, 2017). Por otro lado, la adaptación consiste en ajustar los sistemas naturales o humanos como respuesta a los estímulos climáticos o sus efectos, lo que implica construir resiliencia. Esta última se define como la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza de resistir, absorber, adaptarse y recuperase de sus efectos de manera oportuna y eficaz (UNISDR, 2009). A nivel urbano, la adaptación implica, entonces, incorporar estrategias de adaptación considerando la expresión territorial del riesgo climático.

a. Actividades clave

Considerando lo anterior, el marco metodológico general consiste en doce actividades clave que permiten abordar desde una perspectiva analítica cada componente del riesgo para luego establecer medidas de adaptación al cambio climático a nivel urbano. A su vez, las actividades fueron agrupadas en cuatro etapas.

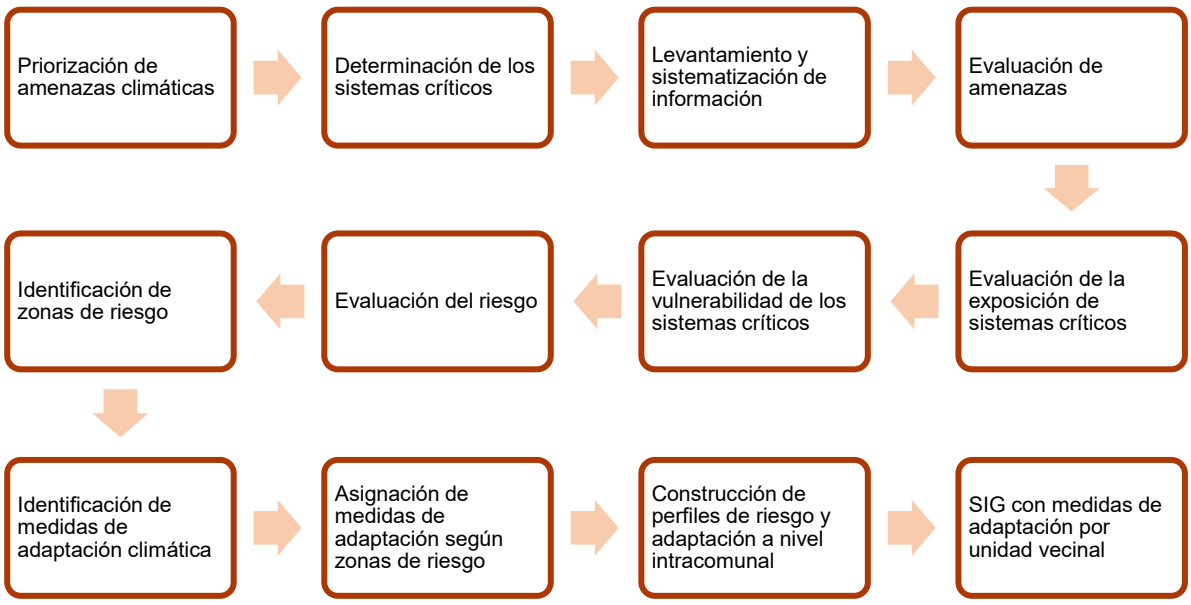


Figura 1. Actividades clave del estudio

b. Etapas del estudio

Las etapas del estudio son las siguientes:

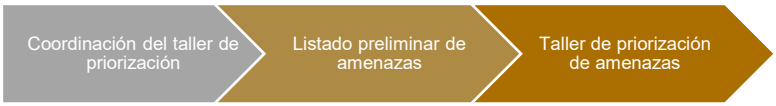
- **Etapa 1. Ajuste metodológico del estudio:** En esta etapa se definen las amenazas climáticas a abordar desde el punto de vista del riesgo climático mediante un proceso de priorización participativa con actores clave de la contraparte. Además, se define el marco metodológico detallado del estudio, identificando actividades, procedimientos técnicos y plazos.

- **Etapa 2. Conceptualización de componentes y levantamiento de información:** Esta etapa parte con la conceptualización del riesgo climático y los sistemas críticos. Además, se compila y sistematiza la información geoespacial y/o tabular necesaria para la caracterización y construcción de índices para las amenazas, vulnerabilidad y exposición.

- **Etapa 3. Determinación de las amenazas, exposición y vulnerabilidad:** En esta etapa se abordan los componentes que conforman el riesgo climático comunal: amenazas, exposición y vulnerabilidad. Cada componente es caracterizado a escala comunal, evaluando patrones espaciales, distribución y magnitudes. Además, se desarrollan los índices normalizados para cada componente del riesgo, lo que permitirá el cálculo del riesgo comunal en la etapa siguiente.

- **Etapa 4. Riesgo comunal y medidas de adaptación:** En esta etapa se calcula el riesgo comunal utilizando los índices de amenaza, exposición y vulnerabilidad de la etapa anterior. Además, se determinan las áreas homogéneas de riesgo y se identifican las áreas prioritarias para implementar medidas de adaptación. Se desarrolla una matriz con medidas de adaptación las que son asociadas con las áreas homogéneas en un Sistema de Información Geográfica, configurando una herramienta de gestión para enfrentar la vulnerabilidad territorial frente a las amenazas según sistema crítico. Finalmente, se generan perfiles de riesgo por unidad vecinal, resumiendo en una ficha el comportamiento de los componentes del riesgo (amenazas, exposición y vulnerabilidad) y las medidas de adaptación recomendadas.

E1. Priorización de amenazas climáticas



En esta etapa se definen las amenazas climáticas a abordar desde el punto de vista del riesgo climático mediante un proceso de priorización participativa con actores clave de la contraparte. Además, se define el marco metodológico detallado del estudio, identificando actividades, procedimientos técnicos y plazos. Para esto último, referirse al informe individual de la etapa.

Contenidos:

I. Priorización de amenazas climáticas

I. PRIORIZACIÓN DE AMENAZAS CLIMÁTICAS

1. Reunión inicial y coordinación del taller de priorización

Para poner en marcha la ejecución del proyecto, se agendó una reunión inicial de coordinación con el equipo municipal. Durante esta reunión se realizó ronda de introducciones y se dieron a conocer las expectativas y el alcance del estudio. Esta actividad definió aspectos clave para el enfoque del análisis a desarrollar, entre ellos los objetivos de planificación y gestión que el equipo municipal tiene considerado para el estudio y la coordinación factible con otros departamentos municipales. Además, se esclarecieron necesidades inmediatas de comunicación relativas a solicitudes de información y se coordinaron los aspectos logísticos y técnicos del taller de priorización de amenazas.

2. Identificación del listado preliminar de amenazas

Las amenazas climáticas son fenómenos y eventos físicos y/o actividad humana exacerbadas por la variabilidad climática de impacto potencialmente perjudicial, que puede causar la pérdida de vidas o lesiones, daños materiales, interrupción social y económica o degradación ambiental (UNDDR, 2009). Tienen una expresión diferenciada dependiendo del contexto geográfico y temporal. En este sentido, existen amenazas de expresión regional, las que se presentan en forma de eventos que afectan a una o más de una región, y también local, es decir eventos focalizados cuyo alcance es variable, pudiendo afectar a la totalidad del territorio comunal o parte de él. A continuación, se explican los pasos seguidos para la identificación del listado preliminar de amenazas.

a. Revisión documental y bibliográfica

La búsqueda considera aquellas amenazas regionales y locales que, según estudios realizados durante los últimos años, pueden ocurrir en la comuna. Estas amenazas conforman un listado preliminar, el que posteriormente será priorizado por el equipo municipal en función de su experiencia local**.** A continuación, se listan los estudios e informes revisados para el listado preliminar de amenazas:

.

- Estrategia Nacional de Cambio Climático.
- Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2008-2012 (PNACC I).
- Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2014.
- Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022 (PNACC II).
- Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales 2017-2025.
- Plan de Adaptación al Cambio Climático para Ciudades 2018-2022.
- Estrategia de Resiliencia Región Metropolitana de Santiago 2017.
- Cambio Climático en la Región Metropolitana 2017.
- Propuesta de Plan de Adaptación al Cambio Climático para la Región Metropolitana de Santiago de Chile 2012.
- Informe de riesgos climáticos para la Región Metropolitana 2020.
- Plan local de cambio climático Comuna de Providencia 2015.
- Guía para Gestión Local del Cambio Climático.
- Estudio de riesgos y protección ambiental Comuna de Providencia 2005.
- Estrategia hídrica local 2020-2030 Municipalidad de Providencia 2020.

b. Listado preliminar de amenazas

En base a la revisión se seleccionaron siete amenazas de origen climático. En el listado se incluyen amenazas que se presentan como fenómenos regionales y/o locales que se hayan registrado previamente en el territorio comunal en forma de evento registrado o potencial.

- **Inundación:** Las inundaciones como amenaza climática son procesos de acumulación de agua superficial. Tienen diversas definiciones dependiendo de la naturaleza del fenómeno, pudiendo manifestarse a nivel comunal como fluviales, o eventos 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), o urbanas, en forma de inundaciones repentinas, inundaciones en puntos del tejido urbano por mal drenaje e inundaciones de alcantarillado. Entre las causas de las inundaciones se cuentan como relevantes para el riesgo climático las precipitaciones intensas y/o duraderas, deshielos, rotura o colapso de infraestructura de drenaje o de matriz de agua potable (aguas lluvias y/o aguas servidas) debido a fenómenos meteorológicos extremos.

- **Sistema frontal (viento/lluvia):** Tormentas y/o episodios meteorológicos provocados por zonas de contacto entre dos masas de aires de distinta temperatura, humedad y/o densidad. Se caracterizan por manifestar vientos y/o lluvia de gran intensidad y son potencialmente destructivos.

- **Ola de calor:** La amenaza de ola de calor se define como un período de tres días consecutivos en que las temperaturas máximas diarias registran valores poco frecuentes que superan el percentil 90% de distribución para el período 1981-2010 de un lugar determinado. Si el evento se presenta por cinco o más días continuos, se denomina Ola de Calor Extrema (DMC).

- **Ola de frío:** Período de tres días consecutivos en que las temperaturas mínimas diarias registran valores poco frecuentes que no sobrepasan el percentil 5% en las temperaturas mínimas de una localidad en particular. Si el evento se presenta por cinco o más días continuos, se denomina Ola de Frío Extrema (ONEMI, 2021).

- **Sequía:** La sequía consiste en un periodo prolongado de tiempo con niveles de precipitación considerablemente inferior a la normal registrada, lo que causa una disminución apreciable en el caudal de los ríos y en el nivel de los lagos y/o en el agotamiento de la humedad del suelo y el descenso de los niveles de aguas subterráneas, afectando negativamente los sistemas de producción y en casos extremos, el abastecimiento para consumo humano (ONEMI, 2021).

- **Incendio forestal:** Fuego que, sin importar su origen y tamaño, se propaga sin control en terrenos rurales y áreas de interfaz, a través de vegetación leñosa, arbustiva o herbácea, viva o muerta (ONEMI, 2021).

- **Remoción en masa:** 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 la Región Metropolitana, las precipitaciones provocan en manera predominante remociones de tipo flujo de barro y detritos, de alta rapidez y peligrosidad para áreas cercanas a laderas.

3. Taller de priorización de amenazas

Se realizó un taller con funcionarios municipales con el objetivo de priorizar un máximo de cinco amenazas climáticas del listado preliminar. Para tal efecto se diseñó una herramienta de priorización participativa, la que fue presentada en un taller vía la plataforma Zoom. El taller contó con las siguientes secciones:

- Antecedentes del ERVCP.
- Conceptos y definiciones en torno al riesgo climático.
- Las amenazas desde la perspectiva de los impactos.
- Matriz de priorización de amenazas.

Los contenidos del taller permitieron a los participantes incorporar conceptos y definiciones necesarias para la priorización. En la sesión se instruyó a los participantes en la forma de llenado de la matriz, haciendo hincapié en utilizar la experiencia propia en el territorio comunal para evaluar el impacto potencial de amenazas climáticas sobre un conjunto de elementos expuestos de la comuna.

a. Matriz de priorización

Fue desarrollada en Google Sheets y toma la forma de una matriz de doble entrada con las amenazas en el eje Y (vertical) y los elementos expuestos en el eje X (horizontal). Se consideraron 28 elementos expuestos divididos en cuatro categorías como muestra la figura.

	Infraestructuras	Servicios y Equipamientos	Actividades Económicas	Sector Demográfico
	Elemento 1	**Elemento 2**	**Elemento 3**	**Elemento n…**
Inundación				
Sistema frontal (viento / lluvia)				
Ola de calor				
Ola de frío				
Sequía				
Incendio forestal				
Remoción en masa				

Figura 2. Estructura de los ejes de la matriz de priorización. Fuente: elaboración propia.

b. Forma de evaluación

Los participantes evaluaron cualitativamente la magnitud probable del impacto de cada una de las siete amenazas sobre cada elemento expuesto con la siguiente rúbrica:

0	Impacto nulo
1	Impacto menor
2	Impacto medio
3	Impacto mayor

Figura 3. Rúbrica de evaluación. Fuente: elaboración propia.

Para la evaluación cualitativa se definió el impacto en cada categoría de elemento expuesto:

- **Impacto en infraestructuras**: Daño o degradación material de las infraestructuras.
- **Impacto en servicios y equipamientos**: Interrupción al servicio o daño material al equipamiento.
- **Impacto en actividades económicas**: Interrupción en el funcionamiento de las actividades.
- **Impacto en sector demográfico**: Pérdida de vidas o lesiones.

Asimismo, se instruyó a los participantes respecto de las siguientes consideraciones para facilitar la evaluación:

- En muchos casos el impacto será nulo y es válido por lo tanto ingresar un valor 0.
- Para elementos expuestos similares en los que es difícil hacer una distinción del nivel de impacto, puede evaluarlos con el mismo valor.
- Si no está seguro de la existencia de impactos, deje en blanco la celda.
- No es necesario realizar investigación acerca de los impactos. Importa el conocimiento y experiencia propia.

A cada participante se le asignó una matriz individual con su nombre y se procedió a iniciar el ejercicio de llenado al final de la sesión. Se utilizó un formato condicional para colorear automáticamente la magnitud del impacto y observar de esta forma los patrones de relación entre amenaza y elemento expuesto.

	Infraestructuras	Servicios y Equipamientos	Actividades Económicas	Sector Demográfico
	Elemento 1	**Elemento 2**	**Elemento 3**	**Elemento n…**
Inundación	3	3	1	3
Sistema frontal (viento / lluvia)	1	3	0	2
Ola de calor	1	2	2	3
Ola de frío	3	3	1	3
Sequía	1	3	0	2
Incendio forestal	1	2	2	3
Remoción en masa	3	3	1	3

Figura 4. Ejemplo esquemático de la matriz con valores de evaluación. Fuente: elaboración propia.

c. Resultados de la priorización

Participaron del ejercicio de priorización un total de 58 funcionarios municipales de diversas direcciones. De estos, 25 personas completaron el ejercicio integralmente de acuerdo a las instrucciones (43%) y cuatro completaron parcialmente la matriz, es decir, llenando sólo algunas celdas. Por otro lado, 29 personas dejaron la matriz totalmente en blanco sin realizar el ejercicio (50%). Las respuestas recibidas fueron promediadas en una sola matriz de resultados y se realizó una lectura analítica de esta para identificar aquellas amenazas con mayor incidencia en los elementos expuestos.

Es posible detectar dos patrones de impactos en la matriz de resultados: extendidos y puntuales. Sólo dos amenazas presentan impactos extendidos, es decir una afectación en la mayoría de los elementos expuestos de la comuna. Para el resto de las amenazas, los participantes identificaron impactos en elementos aislados, no necesariamente concentrados en alguna categoría particular.

Impactos extendidos

La inundación es la amenaza con los impactos más extendidos en el territorio comunal. Destacan impactos en las infraestructuras de agua, alcantarillado y red vial y equipamientos como centros de salud, centros educacionales, plazas y parques. También el servicio de transporte público y recolección de basura. Comercio y servicios aparecen como las actividades económicas más impactadas, mientras que los adultos mayores son priorizados como el grupo etario más vulnerable a esta amenaza.

En segundo lugar, en cuanto a una mayor afectación en los elementos expuestos, aparece la amenaza de sistema frontal. Destacan valores elevados de impacto en la categoría de infraestructuras, con afectación en la red eléctrica y arbolado urbano, y luego valores medios en la categoría de servicios y equipamiento, destacando elementos como plazas y parques. Si bien las categorías de actividades económicas y sector demográfico presentan impactos, son en general menores que las categorías anteriores.

Impactos puntuales

En el patrón de impactos puntuales, destacan las amenazas de ola de calor, ola de frío y sequía. De acuerdo con los participantes, la ola de calor impactaría principalmente a la vegetación urbana y arbolado y, con ello, a los parques y plazas de la comuna. También identificaron impactos en los niños y adultos mayores, lo que es coincidente con los patrones de impacto de esta amenaza en otros contextos. Junto con la sequía, la ola de calor presenta el valor promedio de impacto más alto en la matriz de resultados (2,8). La amenaza de ola de frío coincide con la ola de calor en término de los elementos impactados; sin embargo, los valores son comparativamente menores. La sequía presenta impactos puntuales elevados en la provisión de agua y en la infraestructura verde comunal (árboles y vegetación), incluyendo también los parques y plazas. Al igual que las dos amenazas anteriores, se identifican a los niños y adultos mayores como grupos vulnerables.

Finalmente, las amenazas de incendio forestal y remoción en masa no muestran niveles de impacto que sean destacables, ya sea extendidos o puntuales. Lo anterior puede deberse a que estas amenazas se manifiestan en sectores acotados de la comuna (únicamente en el Cerro San Cristóbal). Así, al no ser amenazas distribuidas territorialmente, su impacto en elementos expuestos tiende a ser menor, poco frecuente o bien nulo.

Considerando los resultados, el equipo consultor propuso enfocarse en cuatro amenazas que tienen incidencia local y que se manifiestan también a escala regional[1]. Lo anterior es importante puesto que algunas amenazas poseen interdependencias y su impacto local puede estar asociado a una manifestación física de la amenaza fuera del territorio comunal. Las amenazas propuestas son:

1. Inundación
2. Ola de calor
3. Sistema frontal (viento/lluvia)
4. Sequía

La contraparte técnica aprobó el listado de amenazas priorizadas. Las amenazas climáticas corresponden al primer componente necesario para el cálculo del riesgo climático comunal.

[1] Se decide dejar fuera la ola de frío, puesto que este fenómeno no ha sido relevante a nivel regional en términos de impacto.

	INFRAESTRUCTURAS								
	Suministro de agua y alcantarillado	Red eléctrica e internet	Red de gas	Red de telefonía móvil (antenas)	Red vial	Red ciclovías	Mobiliario urbano y luminarias	Arbolado urbano	Vegetación urbana (paisajismo)
Inundación	**2,6**	**1,8**	**1,1**	**1,1**	**2,4**	**2,0**	**1,6**	**1,3**	**1,9**
Sistema frontal (viento/lluvia)	**2,3**	**2,5**	**1,1**	**2,2**	**2,1**	**2,0**	**1,9**	**2,6**	**2,2**
Ola de calor	**1,6**	**1,2**	**0,8**	**0,6**	**0,7**	**0,8**	**0,5**	**2,5**	**2,3**
Ola de frío	**1,5**	**1,1**	**1,1**	**0,6**	**1,0**	**1,0**	**0,5**	**2,0**	**2,3**
Sequía	**2,6**	**1,2**	**0,6**	**0,5**	**0,5**	**0,7**	**0,6**	**2,8**	**2,7**
Incendio forestal	**1,0**	**1,3**	**1,0**	**1,4**	**0,9**	**0,7**	**1,0**	**2,2**	**1,9**
Remoción en masa	**1,4**	**1,0**	**0,7**	**0,9**	**1,3**	**1,2**	**1,1**	**1,6**	**1,5**

Figura 5. Matriz de resultados para Infraestructuras. Fuente: elaboración propia.

	SERVICIOS Y EQUIPAMIENTOS									
	Centros de salud	Establecimientos educacionales (jardines infantiles, colegios, liceos)	Recintos deportivos	Centros comunitarios y culturales	Plazas y parques	Transporte público	Carabineros	Seguridad ciudadana	Bomberos	Recolección de basura
Inundación	**2,1**	**2,2**	**1,5**	**1,6**	**2,2**	**2,5**	**1,8**	**1,9**	**1,8**	**2,5**
Sistema frontal (viento/lluvia)	**1,8**	**1,9**	**1,5**	**1,5**	**2,2**	**2,0**	**1,5**	**1,6**	**1,6**	**1,9**
Ola de calor	**1,8**	**1,6**	**1,3**	**1,1**	**2,2**	**1,0**	**1,0**	**1,1**	**1,6**	**1,3**
Ola de frío	**2,0**	**1,6**	**1,0**	**1,0**	**1,8**	**1,1**	**0,9**	**1,0**	**1,0**	**1,0**
Sequía	**1,8**	**1,9**	**1,5**	**1,5**	**2,7**	**0,6**	**0,8**	**0,8**	**1,8**	**0,8**
Incendio forestal	**0,9**	**0,7**	**0,5**	**0,8**	**1,7**	**0,4**	**1,1**	**1,1**	**1,6**	**0,5**
Remoción en masa	**1,0**	**0,7**	**0,4**	**0,8**	**1,3**	**0,4**	**0,9**	**1,0**	**1,2**	**0,7**

Figura 6. Matriz de resultados para Servicios y Equipamientos. Fuente: elaboración propia.

	ACTIVIDADES ECONÓMICAS					SECTOR DEMOGRÁFICO			
	Comercio menor y mayor	Servicios (financieros, comunitarios sociales, salud, personales)	Hotelería y gastronomía	Construcción	Inmobiliario	Niños (0-14)	Jóvenes (15-29)	Adultos (30-59)	Adultos mayores (60+)
Inundación	2,4	2,1	2,0	2,2	2,0	1,8	1,5	1,6	2,2
Sistema frontal (viento/lluvia)	1,6	1,5	1,5	1,7	1,3	1,8	1,2	1,3	2,1
Ola de calor	1,0	0,9	0,9	1,4	1,0	2,5	1,4	1,5	2,8
Ola de frío	1,0	1,0	1,0	1,2	0,8	2,3	1,3	1,4	2,7
Sequía	1,4	1,6	1,5	1,4	1,1	2,0	1,6	1,6	2,2
Incendio forestal	0,6	0,5	0,8	0,5	0,3	1,6	1,0	1,0	1,8
Remoción en masa	0,5	0,5	0,6	0,6	0,4	0,9	0,8	0,8	1,0

Figura 7. Matriz de resultados para Actividades Económicas y Sector Demográfico. Fuente: elaboración propia.

E2. Conceptualización de componentes y levantamiento de información

Esta etapa parte con la conceptualización del riesgo climático y los sistemas críticos. Además, se compila y sistematiza la información geoespacial y/o tabular necesaria para la caracterización y construcción de índices para las amenazas, vulnerabilidad y exposición.
Contenidos:

I. Conceptualización de componentes
II. Levantamiento y sistematización de la información

I. CONCEPTUALIZACIÓN DE COMPONENTES

1. Riesgo

a. Conceptualización

El riesgo posee diversas definiciones dependiendo del contexto en que se ocupe (Zonensein et al., 2008). De acuerdo a la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de Desastre, en un contexto de fenómenos naturales el riesgo es la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas (UNISDR, 2009).

Desde la perspectiva de la planificación territorial, el riesgo es 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 (exposición) debido a la interacción de eventos físicos (amenazas) con el sistema social (vulnerabilidad).

Así, la evaluación del riesgo requiere de un análisis de sus componentes: las amenazas climáticas potenciales y las condiciones existentes de exposición y vulnerabilidad, que, en su conjunto, podrían dañar a la población, bienes, infraestructura y entorno (UNISDR, 2017).

Cabe mencionar que el riesgo es un estado latente que se materializa en un desastre cuando confluyen simultáneamente condiciones de una perturbación física externa –en este caso, amenazas climáticas– y debilidades inherentes de los elementos humanos (Lavell et al., 2012). Así, es importante destacar la relación de interdependencia entre los componentes del riesgo. No se puede hablar de riesgo si el elemento vulnerable no está expuesto a amenazas, si no hay elementos expuestos, o bien, si el elemento expuesto no es vulnerable ante la acción potencial que representa una amenaza (Cardona, 2001). Es decir, la ausencia de cualquiera de los componentes implica la inexistencia del riesgo.

b. Aproximación analítica al riesgo

El cálculo del riesgo climático consiste en la combinación analítica de sus tres componentes: amenazas, exposición y vulnerabilidad. Cada componente es calculado como un índice geográfico normalizado. Tanto la construcción de índices como el análisis del riesgo se realizó en el software ArcGIS Pro de ESRI. La fórmula general del riesgo es la siguiente:

$$Rg = \{(Ai) \times (Ei) \times (Vi)\}$$

Donde:

- Rg: Riesgo climático
- Ai: Índice general de amenaza
- Ei: Índice general de exposición
- Vi: Índice general de vulnerabilidad

Cada índice corresponde a una capa geográfica o geoespacial en formato *raster,* que es un formato que representa información continua en el que cada pixel es un dato o valor. Los índices tienen una resolución espacial de 10 metros y se normalizaron con valores entre 0 a 1 que representan el grado de amenaza, exposición o vulnerabilidad.

La normalización es necesaria puesto que cada componente tiene, generalmente, una escala particular para expresar su grado, nivel o intensidad. Se utilizó el método *Designación de unidades valorativas* propuesto por Carvacho (2011), ya utilizado previamente para indicadores de riesgo climático y zonas de catástrofe (Henríquez et al., 2016).

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

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

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

Donde:

- Pi: puntaje normalizado (0 a 1)
- Xi: valor
- X: promedio
- X*min*: valor mínimo
- X*max*: valor máximo
- R*sup*: razón de puntaje asignado sobre el promedio
- R*inf*: razón de puntaje asignado bajo el promedio

Dependiendo de la estructura de los datos, se podrá utilizar una forma simplificada de normalización:

$$X_{normalized} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{max}}$$

Donde:

- X*normalized:* Valor normalizado
- X: Valor del pixel correspondiente a la amenaza
- X*min*: Valor mínimo de todos los pixeles
- X*max*: Valor máximo de todos los pixeles

2. Amenaza

a. Conceptualización

También asociada a “peligro”, se entiende como amenaza la probabilidad y/o intensidad esperada de eventos adversos en un lugar y momento definido. Las amenazas climáticas se asocian comúnmente a cambios en los patrones hidrometeorológicos que generan condiciones de estrés sobre los sistemas naturales y sociales. Si bien estos fenómenos son propios de la historia natural del planeta, durante las últimas décadas estos se han exacerbado producto del cambio climático, produciendo graves impactos sobre dichos sistemas. Se consideran cuatro amenazas climáticas en este estudio, de acuerdo a la priorización realizada en la E1.

b. Aproximación analítica a las amenazas

Caracterización

Las amenazas se caracterizaron respecto de los eventos ocurridos y/o probabilidad de ocurrencia en los últimos 20 años[2], considerando la temporalidad de los datos disponibles para cada amenaza. Se utilizaron distintos formatos de información, incluyendo modelaciones geoespaciales y registros estadísticos de variables e índices climatológicos. La caracterización, a su vez, puede estar asociada a dos tipos de información: probabilidad o evento.

- **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.
- **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 o bien contener información respecto de parámetros que inciden en la ocurrencia de evento

Índice general de amenaza

El índice general de amenaza se construyó a partir de la suma lineal del puntaje normalizado de la caracterización de las amenazas[3]. Este resultado también se normalizó entre 0 y 1 de acuerdo a la fórmula simplificada descrita anteriormente. La suma lineal toma la siguiente forma conceptual:

$$Ag = \sum_{1}^{n} Pi(Ai)$$

Donde:

- Ag: Índice general de amenaza
- Pi(Ai): Puntaje normalizado de cada amenaza

El resultado del índice general de amenaza es una capa geográfica de tipo *raster* que, al igual que los índices individuales de cada amenaza, posee una resolución de 10 metros y con valores que van de 0 a 1. Este conforma el primer insumo para el cálculo del riesgo climático comunal.

[2] Se priorizó abarcar rangos temporales más amplios en caso de existir registros históricos.
[3] El listado y tipos de información utilizada para caracterizar cada amenaza y construir el índice puede ser revisado en la sección de “sistematización” y en la E3.

3. Exposición y vulnerabilidad

a. Conceptualización

Tanto la exposición como la vulnerabilidad son componentes que deben ser entendidos respecto de los elementos que pueden ser impactados o dañados producto de amenazas. Dependiendo de los objetivos de la evaluación del riesgo, estos elementos pueden corresponder a poblaciones humanas, bienes públicos y privados, infraestructura, entorno natural, entre otros. En este estudio, los elementos expuestos se agrupan en tres sistemas comunales relevantes denominados sistemas críticos:

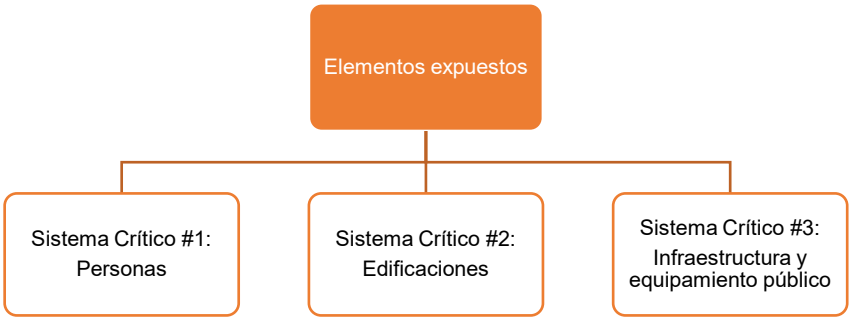


Figura 8. Sistemas críticos considerados. Fuente: elaboración propia.

- **Exposición:** Comprende aquellos elementos presentes en el territorio que, dada su localización, son potencialmente susceptibles de ser afectados por ocurrencia de eventos asociados a las amenazas climáticas. Un elemento se considerará expuesto cuando se localice en una zona donde exista amenaza. En este estudio los sistemas críticos se dividen en dimensiones que agrupan elementos similares y estos, a su vez, son representados por componentes que son variables geográficas que permiten individualizarlos y localizarlos.

- **Vulnerabilidad:** La vulnerabilidad se entiende como la susceptibilidad de los elementos expuestos de verse afectados negativamente por la ocurrencia de eventos asociados a amenazas climáticas. La vulnerabilidad se puede caracterizar en función de variables que reflejen cuan propenso está un grupo de personas o bienes de sufrir y/o soportar daño. En el presente estudio, estas variables son estructuradas como componentes de dimensiones que permiten caracterizar esta susceptibilidad para los sistemas críticos considerados para la comuna. A su vez, cada componente es una variable geográfica que permite representar dicha susceptibilidad.

Como se aprecia, en la exposición y vulnerabilidad los sistemas críticos son representados mediante dimensiones y componentes. En el diseño de las dimensiones y componentes se incorporaron los resultados propuestos del *Estudio de riesgo y vulnerabilidad climática 2020*[4] desarrollado por la Municipalidad en marco del proceso de actualización de sus instrumentos de planificación territorial.

[4] Los macro y micro factores del citado estudio corresponden a “dimensiones” y “componentes”, respectivamente, los cuales fueron adaptados y ajustados según la disponibilidad de información para la realización del presente estudio.

Componente del riesgo	Sistema crítico	Dimensión	Componente
Exposición	• Categoría mayor de elementos expuestos.	• Subcategoría temática que agrupa elementos expuestos (componentes) similares.	• Corresponde al elemento expuesto. • Toma la forma de una variable geográfica que permite localizar y cuantificar el elemento expuesto. • Responde a la pregunta de cuántos elementos están expuestos y dónde se encuentran.
Vulnerabilidad	• Categoría mayor de elementos expuestos.	• Subcategoría temática que agrupa componentes de susceptibilidad similares.	• Corresponde a la caracterización de la vulnerabilidad. • Toma la forma de una variable geográfica que refleja cuan propenso está un sistema crítico de sufrir y/o soportar daño. • Responde a la pregunta de cuán susceptible es dicho sistema.

Tabla 2. Definición de dimensión y componente para exposición y vulnerabilidad de los sistemas críticos. Fuente: elaboración propia.

b. Aproximación analítica a la exposición

Caracterización

La caracterización de la exposición consiste en catastrar los componentes de cada sistema crítico mediante su cuantificación y localización geográfica en la comuna. Cada componente es representado por una variable geográfica[5], la cual posee una dimensión y se asocia a un sistema crítico, como se observa en la tabla a continuación. Además, se evalúa la localización de los componentes respecto del índice general de amenaza. Esto permite cuantificar cuántos elementos están expuestos a un determinado nivel de amenaza.

Sistema crítico	Dimensión	Componentes
Exposición de las personas: consiste en las personas que viven en la comuna.	**Habitantes**	Habitantes
Exposición de las edificaciones: consiste en la individualización del uso residencial en las edificaciones, a partir de las viviendas existentes en la comuna.	**Viviendas**	Viviendas
Exposición de la infraestructura y equipamiento público: consiste en el número total y distribución de diversas infraestructuras y equipamientos comunales.	**Áreas verdes y recreación**	Plazas
		Parques
		Zonas de juegos infantiles
	Infraestructura vial	Ciclovías
		Calles
		Paraderos
	Infraestructura	Luminarias
		Arboledas
		Fuentes de agua
	Equipamiento comunal	Establecimientos educacionales
		Jardines y salas cuna
		Equipamiento deportivo
		Edificios policiales
		Cuarteles de bomberos
		Establecimientos de salud

Tabla 3. Dimensiones y componentes en el contexto de la exposición. Fuente: elaboración propia.

[5] El listado de variables para caracterizar la exposición puede ser revisado en la sección de “sistematización” y en la E3.

Índice general de exposición

Dado que cada elemento expuesto posee una unidad distinta para cuantificarlo (ej: hectáreas de plazas, número de personas, kilómetros de ciclovía, etc.), estos deben normalizarse con valores entre 0 y 1 para poder combinarlos en un índice único, utilizando la fórmula simplificada de normalización. Similar a los otros componentes del riesgo, el índice de exposición se construye a partir de la suma lineal del puntaje normalizado de cada componente agrupados por sistema crítico. El resultado también se normalizó entre 0 y 1. La suma lineal toma la siguiente forma conceptual:

$$Eg = \sum_{1}^{n} Pi(Ei)$$

Donde:

- Eg: Índice general de exposición
- Pi(Ei): Puntaje normalizado de cada elemento expuesto agrupado por sistema crítico.

El resultado del índice general de exposición es una capa geográfica de tipo *raster* que posee una resolución de 10 metros y con valores que van de 0 a 1. Este conforma el segundo insumo para el cálculo del riesgo climático comunal, el cual puede ser incorporado a la fórmula de cálculo.

c. Aproximación analítica a la vulnerabilidad

Caracterización

La caracterización de la vulnerabilidad consiste en la identificación de variables geográficas que permitan entender la susceptibilidad de los sistemas críticos. Cada componente se representa con variables geográficas[6] las que, mediante procesos analíticos, se transforman en un indicador. Este indicador posee una direccionalidad, es decir, en qué sentido un valor significa mayor o menor vulnerabilidad. Al igual que en la exposición, cada variable se asocia a una dimensión dentro de un sistema crítico particular.

Sistema crítico	Dimensión	Componente	Tipo de variables
Vulnerabilidad de las personas: consiste en características sociodemográficas de los habitantes de la comuna que los hacen más o menos vulnerables ante amenazas climáticas.	**Condición socioeconómica**	Nivel de estudios	Variables socioeconómicas, educativas y laborales.
		Ingresos	
	Relaciones sociales	Organizaciones comunitarias territoriales	Variable que indica el grado de organización a nivel vecinal.
	Salud	Edad	Variables que dan cuenta de aspectos que pueden afectar a la población vulnerable por temas de edad, discapacidad física o cognitiva.
		Personas con capacidades reducidas	
		Personas con factores de riesgo fisiológico	
		Residencias de adulto mayor	
Vulnerabilidad de las edificaciones: consiste en las características de las edificaciones y el	**Entorno urbano**	Densidad urbana	Variable acerca de la morfología urbana que relaciona densidad y vegetación.

[6] El listado de variables para caracterizar la vulnerabilidad puede ser revisado en la sección de “sistematización” y en la E3.

Sistema crítico	Dimensión	Componente	Tipo de variables
entorno urbano que inciden en la magnitud del impacto de las amenazas climáticas.	**Estructura y edificación**	Calidad de viviendas	Variable que indica características físicas del estado y materialidad de las viviendas.
Vulnerabilidad de la infraestructura y equipamiento público: consiste en las características físico-materiales de la comuna que inciden en la magnitud de los efectos de los eventos climáticos y la capacidad de enfrentarlos.	**Equipamiento para emergencias**	Centros de salud con sala de urgencias	Variables que indican servicios ligados servicios de salud y condiciones que presionan dichos servicios.
		Salud primaria	
		Presión demográfica	
	Espacio publico	Sistemas sanitarios	Variables ligadas a elementos físicos que pueden ayudar a mitigar efectos negativos de amenazas.
		Suelo permeable	
	Naturaleza urbana	Accesibilidad áreas verdes	Variables ligadas a sistemas de vegetación que son gestionados por el municipio y su contexto local.
		Especies adaptadas al clima	
		Sanidad de la vegetación	
		Telegestión del riego	
		Eficiencia en el uso del agua	
	Protección civil	Bomberos	Variables que dan cuenta de la presencia de servicios de emergencia.
		Policías	

Tabla 4. Dimensiones y componentes en el contexto de la vulnerabilidad. Fuente: elaboración propia.

Índice general de vulnerabilidad

Dado que cada componente de vulnerabilidad posee una unidad distinta para cuantificarlo, estos deben normalizarse con valores entre 0 y 1 para poder combinarlos en un índice único, utilizando la fórmula de normalización. Similar a los otros componentes del riesgo, el índice de vulnerabilidad se construye a partir de la suma lineal del puntaje normalizado de cada componente agrupados por sistema crítico. El resultado también se normalizó entre 0 y 1. La suma lineal toma la siguiente forma conceptual:

$$Vg = \sum_{1}^{n} Pi(Vi)$$

Donde:

- Vg: Índice general de vulnerabilidad
- Pi(Vi): Puntaje normalizado de cada componente de vulnerabilidad agrupado por sistema crítico.

El resultado del índice general de vulnerabilidad es una capa geográfica de tipo *raster* que posee una resolución de 10 metros y con valores que van de 0 a 1. Este conforma el tercer y último insumo para el cálculo del riesgo climático comunal, el cual puede ser incorporado a la fórmula de cálculo.

II. LEVANTAMIENTO Y SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

1. Determinación de las necesidades de información

Dada la necesidad de integrar transversalmente la gestión climática a nivel local, el levantamiento consideró un amplio espectro de información multisectorial a fin de perfilar el riesgo climático de manera integral, orientado a objetivos de sustentabilidad y reducción de riesgo de desastres.

a. Levantamiento

Se realizó un listado preliminar de información necesaria para el estudio y se definieron los canales de adquisición de esta. Los canales de adquisición fueron los siguientes:

- Solicitudes de información formales a la Municipalidad de Providencia.
- Solicitudes de información por transparencia.
- Solicitudes a centros de estudios especializados.
- Descargas directas de información pública, oficial y de libre acceso.

Los procesos de levantamiento de información fueron los siguientes:

Fuente	Canal	Fecha solicitud	Fecha respuesta	Contenido de la solicitud	Contenido de la respuesta	% de respuesta
M. de Providencia	Solicitud a contraparte	25 oct. 2022	2 dic. 2022	• Listado de datos según componente de riesgo y departamento municipal.	• Carpeta compartida en Google Drive con datos SIG y tabulares.	35%
M. de Providencia	Solicitud a contraparte	15 dic. 2022	> feb. 2022	• Listado priorizado de datos en base a la primera solicitud.	• Correo con datos en formato SIG y tabulares.	55%
M. de Providencia	Solicitud a contraparte	15 dic. 2022	23 dic. 2022	• Listado de datos requeridos del Estudio de Capacidad Vial (ECV).	• Carpeta compartida en Google Drive con datos SIG del estudio ECV.	100%
ONEMI (SENAPRED)	Solicitud por transparencia #AB004T0000917	8 nov. 2022	30 nov. 2022	• Alertas meteorológicas. • Monitoreo y/o afectación por eventos. hidrometeorológicos. • Puntos críticos por evento.	• SIG en línea con puntos críticos de invierno 2021-22.	33%
Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC)	Solicitud por transparencia #AD020T0004270	11 nov. 2022	2 dic. 2022	• Datos alertas meteorológicas de la DMC para Providencia entre 2000-22 en formato *shapefile*, KML o Excel.	• Archivos PDF de alertas meteorológicas 2015-22 para la RM.	100% (formato distinto al solicitado)
Observatorio de Ciudades UC (OCUC)	Solicitud a centro de estudio	3 ene. 2022	3 ene. 2022	• Metodología para la interpretación de campos del Indicador Socio Material Territorial (ISMT).	• Metodología en formato Word.	100%

Fuente	Canal	Fecha solicitud	Fecha respuesta	Contenido de la solicitud	Contenido de la respuesta	% de respuesta
Infraestructura de Datos Espaciales (IDE Chile y Ministeriales)	Descarga directa de información pública	Según necesidad	N/A	• Catastros de infraestructura y equipamiento. • Plan Regulador Comunal.	• Capas geográficas en formato *shapefile*.	100% Disponible
Instituto Nacional de Estadística (INE)	Descarga directa de información pública	Según necesidad	N/A	• CENSO 2017	• Capa geográfica en formato *shapefile.*	100% Disponible
Dirección Meteorológica de Chile	Descarga directa de información pública	Según necesidad	N/A	• Variables e índices climáticos	• Datos en formato tabular.	100% Disponible
Landsat 7-8 NASA	Descarga directa de información pública	Según necesidad	N/A	• Imágenes satelitales multiespectrales	• Series temporales en formato *raster.*	100% Disponible
Sentinel 2 ESA	Descarga directa de información pública	Según necesidad	N/A	• Imágenes satelitales multiespectrales	• Series temporales en formato *raster.*	100% Disponible
Desinventar	Descarga directa de información pública	Según necesidad	N/A	• Eventos de inundación en la RM	• Datos en formato tabular.	100% Disponible
Centro de la Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2)	Descarga directa de información pública	Según necesidad	N/A	• Índice de Sequía de Palmer	• Datos en formato tabular.	100% Disponible
Dirección General de Aguas (DGA)	Descarga directa de información pública	Según necesidad	N/A	• Decretos de Escasez Hídrica	• Datos en formato tabular.	100% Disponible
Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS)	Descarga directa de información pública	Según necesidad	N/A	• Precipitación promedio	• Series temporales en formato *raster.*	100% Disponible

Tabla 5. Procesos de levantamiento de información. Fuente: elaboración propia.

b. Formato de la información

Dada la naturaleza del estudio, el principal formato corresponde a archivos tipo *shapefile* y *raster,* que son los formatos de información geográfica o geoespacial más utilizados. Además, se compiló información en formato tabular, la mayoría en formato *xlsx (Excel). En menor grado, se utilizó información en formato texto desde archivos PDF. Para utilizar datos numéricos de un documento PDF se requirió transformarlos a un formato que permita realizar análisis como Excel o similar.

- **Shapefile:** Información vectorial (puntos, líneas, polígonos) con atributos. Cada geometría posee una identificación única y atributos en formato tabular con campos. La extensión del formato *shapefile* es *shp y puede ser leído por la mayoría de los programas SIG como ArcGIS, ArcGIS Pro y QGIS.

- **Raster:** Información continua en donde cada pixel o celda posee una dimensión espacial (resolución) y un valor (dato). El formato *raster* puede tener distintas extensiones, pero el más utilizado es el formato *tif (GeoTIFF). Este formato puede ser leído por la mayoría de los programas SIG como ArcGIS, ArcGIS Pro y QGIS.

- **Tabular:** Datos dispuestos en filas y columnas (campos de atributos). Puede o no contener campos con información de geolocalización (latitud, longitud) que permite especializar la información en un SIG. En el estudio se utilizaron tablas en formato .xlsx (Excel), las que también pueden ser leídas en un entorno SIG. En SIG, las tablas de atributos pueden tener otras extensiones de archivo como .dbf (dBASE) y .csv (Comma Separated Values).

- **PDF:** Formato de documento portátil para presentar e intercambiar documentos de forma electrónica con información de texto, tabla, imagen o hipervínculos, entre otros. La extensión de los archivos PDF es *pdf.

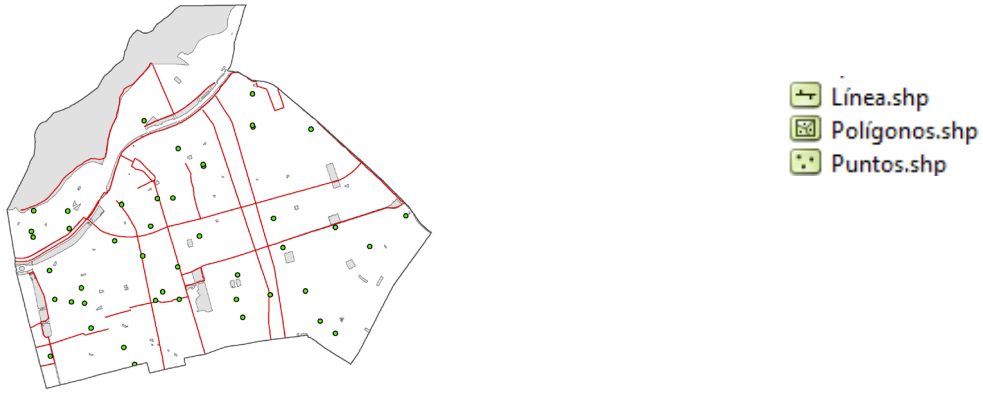


Figura 9. Ejemplo tres tipos de datos *shapefile*. Fuente: elaboración propia en base a dato compilado.

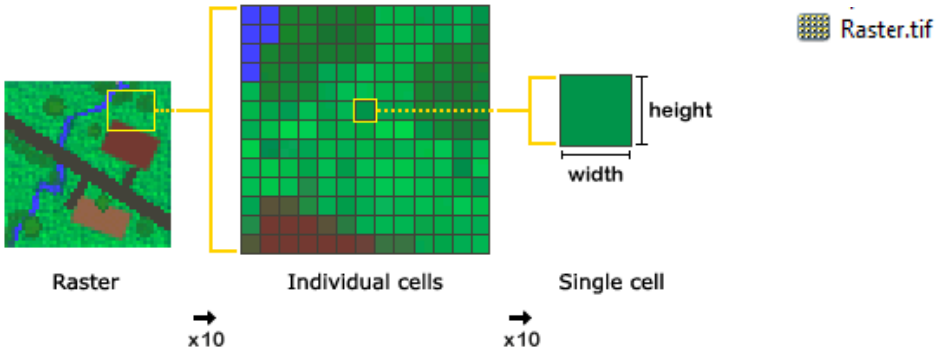


Figura 10. Estructura de un archivo *raster*. Fuente: ESRI.

	FID	Shape *	LAYER	CATEGORIA	ID	NOMBRE_PRC
▶	0	Polygon ZM	PARQUE	PqM	4	Sin Nombre I
	1	Polygon ZM	PARQUE	PqM	5	Sin Nombre II
	2	Polygon ZM	PARQUE		0	
	3	Polygon ZM	PARQUE	Pql	2	Manuel Rodríguez / Bustamante
	4	Polygon ZM	PARQUE	Pql	2	Manuel Rodríguez / Bustamante
	5	Polygon ZM	PARQUE	Pql	2	Manuel Rodríguez / Bustamante
	6	Polygon ZM	PARQUE	PqM	7	Nemesio Antúnez Zañartul
	7	Polygon ZM	PARQUE	PqM	6	Uruguay
	8	Polygon ZM	PARQUE	Pql	4	Inés de Suárez

Tabla.dbf

DAP	Altura Empresa	ALTURA	ESTADO	LATITUD	LONGITUD
11	1a15mt	8	1	-70,59912	-33,44427
3	1a15mt	3	1	-70,5992	-33,44422
14	1a15mt	10	1	-70,59922	-33,44417
23	1a15mt	13	1	-70,59921	-33,44404
3	1a15mt	4	1	-70,59917	-33,44423
3	1a15mt	3	1	-70,59911	-33,44405
18	1a15mt	12	1	-70,59926	-33,44412
3	1a15mt	3	1	-70,5992	-33,44403
3,5	1a15mt	3,7	1	-70,5992	-33,44396

Tabla.xlsx

Figura 11. Ejemplo de tabla de atributos para un *shapefile* (arriba) y tabla en formato Excel (abajo). Fuente: elaboración propia en base a dato compilado.

c. Revisión y compilación

Los datos recopilados se organizaron en carpetas según formato y tema. Luego, estos fueron inspeccionados visualmente para evaluar su estado e idoneidad para los objetivos del estudio. Para la inspección de datos geoespaciales se utilizó en el software ArcGIS Pro de ESRI, los datos tabulares se revisaron en Microsoft Excel y los documentos en Adobe Acrobat. Cabe mencionar que no todos los datos compilados son utilizados en el estudio.

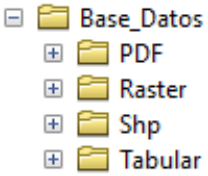


Figura 12. Softwares utilizados y estructura de carpetas de la compilación de los datos levantados. Fuente: elaboración propia.

2. Sistematización

El proceso de sistematización consiste en la preparación de los datos para los componentes analíticos del estudio y comprende:

- **Organización**: En base a la conceptualización de los componentes, la información se organiza en listados de datos, indicando el componente del riesgo al que corresponde, fuente, rango temporal o fecha, escala espacial y formato. Para amenazas, se incluye el tipo de información. Para el caso de exposición y vulnerabilidad se identifica además el sistema crítico, dimensiones y componentes.

- **Selección:** Se seleccionan los rangos temporales y escalas espaciales adecuadas para los objetivos del estudio y se eliminan los registros de datos con errores.

- **Armonización:** Los datos son armonizados en cuanto a formato y estructura y se organizan en carpetas para los procesos analíticos posteriores.

a. Listados de datos por componente del riesgo

A continuación, se presenta el listado de los datos sistematizados y armonizados por componente del riesgo, los que fueron utilizados en diversos procesos analíticos como caracterización y construcción de índices.

Amenaza

Amenaza	Dato	Fuente	Tipo	Rango temporal	Escala especial	Formato
Inundación	Zonas potencialmente saturables	Estudio de capacidad vial y movilidad urbana en la comuna de Providencia	Probabilidad	2022	Comunal	*Shapefile*
Inundación	Puntos Críticos Programa Invierno	ONEMI (Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres, SENAPRED)	Evento	2021-2022	Comunal y comunas de borde	*Shapefile*
Inundación	Eventos de inundación en la RM	DESINVETAR	Evento	1990-2014	Comunal	*Excel*
Inundación	Precipitación mensual año 2021 comparado con promedio 1961-1990	Dirección Meteorológica de Chile (DGAC-DMC)	Evento	1961-1990 y 2021	Santiago (Estación Quinta Normal)	*Excel*
Inundación	Índice de precipitación anual	Dirección Meteorológica de Chile (DGAC-DMC)	Evento	1990-2014	Santiago (Estación Quinta Normal)	*Excel*
Ola de calor	Olas de calor diurnas y olas de calor extremas	Dirección Meteorológica de Chile (DGAC-DMC)	Evento	2001-2022	Santiago (Estación Quinta Normal)	*Excel*
Ola de calor	Temperatura superficial (LST)	Landsat 8 NASA	Evento	2019	Comunal	*Raster*
Sistema frontal	Alertas meteorológicas	Dirección Meteorológica de Chile (DGAC-DMC)	Evento	2015-2022	Región Metropolitana	*Excel*

Amenaza	Dato	Fuente	Tipo	Rango temporal	Escala especial	Formato
Sistema frontal	Precipitación mensual	Dirección Meteorológica de Chile (DGAC-DMC)	Evento	1967-2922	Santiago (Estación Quinta Normal)	*Excel*
Sequía	Índice de Sequía de Palmer a 12 meses (Palmer Drought Index, PDSI)	Centro de la Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2)	Probabilidad	2000-2019	Región Metropolitana	*Excel*
Sequía	Índice de Sequía Estandarizada (SPI/IPE) a 12, 24 y 48 meses.	Dirección Meteorológica de Chile (DGAC-DMC)	Probabilidad	2000-2021	Santiago (Estación Quinta Normal)	*Excel*
Sequía	Decretos de Escasez Hídrica	Dirección General de Aguas (DGA)	Evento	2008-2022	Comunas de la Región Metropolitana	*Excel*
Sequía	Tendencia de la Temperatura Superficial (LST)	Landsat 8 NASA	Evento	2013-2022	Comunal	*Raster*
Sequía	Tendencia precipitación promedio diaria anual	Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS)	Evento	1981-2022	Región Metropolitana	*Raster*
Sequía	Tendencia promedio del índice de vegatación Normalized Vegetation Index (NDVI)	Landsat 7 NASA	Evento	2000-2022	Comunal	*Raster*

Tabla 6. Datos sistematizados y armonizados para el componente “amenaza”. Fuente: elaboración propia.

Exposición

Sistema crítico	Dimensión	Componente	Variable	Fuente de datos	Fecha	Escala espacial	Formato
Personas	Habitantes	Habitantes	N° y distribución de la población comunal	WorldPop, University of Sotuhampton y Censo (NE)	2017, 2019	Comunal	*Raster Shapefile*
Edificaciones	Viviendas	Viviendas	N° de viviendas por manzana	Censo, Instituto Nacional de Estadísticas (INE)	2017	Comunal	*Shapefile*
Infraestructura y Equipamiento Público	Áreas verdes y recreación	Plazas	Área de plazas	Estudio de capacidad vial y movilidad urbana en la comuna de Providencia	2022	Comunal	*Shapefile*
Infraestructura y Equipamiento Público	Áreas verdes y recreación	Parques	Área de parques	Estudio de capacidad vial y movilidad urbana en la comuna de Providencia	2022	Comunal	*Shapefile*
Infraestructura y Equipamiento Público	Áreas verdes y recreación	Zonas de juegos infantiles	Juegos infantiles	Municipalidad de Providencia	2022	Comunal	*Shapefile*

Sistema crítico	Dimensión	Componente	Variable	Fuente de datos	Fecha	Escala espacial	Formato
Infraestructura y Equipamiento Público	Infraestructura vial	Ciclovías	Red de ciclovías	Municipalidad de Providencia	2022	Comunal	*Shapefile*
Infraestructura y Equipamiento Público	Infraestructura vial	Calles	Red vial	Municipalidad de Providencia	2022	Comunal	*Shapefile*
Infraestructura y Equipamiento Público	Infraestructura vial	Paraderos	Ubicación de paraderos	Municipalidad de Providencia	2022	Comunal	*Shapefile*
Infraestructura y Equipamiento Público Infraestructura y Equipamiento Público	Infraestructura	Luminarias	Ubicación de luminarias	Municipalidad de Providencia	2022	Comunal	*Shapefile*
Infraestructura y Equipamiento Público	Infraestructura	Arboledas	Área de arboledas	Municipalidad de Providencia	2022	Comunal	*Shapefile*
Infraestructura y Equipamiento Público	Infraestructura	Fuentes de agua	Ubicación de fuentes de agua	Municipalidad de Providencia	2022	Comunal	*Shapefile*
Infraestructura y Equipamiento Público	Equipamiento comunal	Establecimientos educacionales	Ubicación de colegios, escuelas, liceos	Ministerio de Educación (MINEDUC)	2021	Comunal	*Shapefile*
Infraestructura y Equipamiento Público	Equipamiento comunal	Jardines y salas cuna.	Ubicación de jardines y salas cuna	Junta Nacional de Jardines Infantiles (JUNJI), Integra	2021	Comunal	*Shapefile*
Infraestructura y Equipamiento Público	Equipamiento comunal	Equipamiento deportivo	Ubicación centros deportivos municipales	Municipalidad de Providencia	2022	Comunal	*Shapefile*
Infraestructura y Equipamiento Público	Equipamiento comunal	Edificios policiales	Ubicación de comisarías y subcomisarías	Municipalidad de Providencia	2022	Comunal	*Shapefile*
Infraestructura y Equipamiento Público	Equipamiento comunal	Cuarteles de bomberos	Ubicación de compañías de Bomberos	Municipalidad de Providencia	2022	Comunal	*Shapefile*
Infraestructura y Equipamiento Público	Equipamiento comunal	Establecimientos de salud	Ubicación de establecimientos de salud públicos y privados	Ministerio de Salud (MINSAL)	2021	Comunal	*Shapefile*

Tabla 7. Datos sistematizados y armonizados para el componente “exposición”. Fuente: elaboración propia.

Vulnerabilidad

Sistema crítico	Dimensión	Componente	Variable	Fuente de datos	Fecha	Escala espacial	Formato
Personas	Condición socioeconómica	Nivel de estudios	Porcentaje de población con estudios de educación superior.	INE	2017	Zona censal	Shapefile
Personas	Condición socioeconómica	Ingresos	Porcentaje de población con ingresos bajos en la comuna.	OCUC	2022	Zona censal	Shapefile
Personas	Relaciones sociales	Organizaciones comunitarias territoriales	Nivel de actividad de las juntas de vecinos según unidad vecinal.	Municipio	2022	Unidad Vecinal	Excel
Personas	Salud	Edad	Población en edad vulnerable a eventos climáticos.	INE	2017	Manzana	Shapefile
Personas	Salud	Personas con capacidades reducidas	Población bajo control programa Dependencia Severa de los CESFAM de la comuna.	Municipalidad	2022	Manzana	Excel
Personas	Salud	Personas con factores de riesgo fisiológico	Población bajo control programa de Salud Cardiovascular de los CESFAM de la comuna.	Municipalidad	2022	Manzana	Shapefile
Personas	Salud	Residencias de adulto mayor	Presencia de establecimientos de larga estadía para el adulto mayor ELEAM.	Municipalidad	2022	Manzana	Excel
Edificaciones	Entorno urbano	Densidad urbana	Densidad de edificaciones de acuerdo a la clasificación de zonas climáticas locales.	DUPLA ECV	2022	Subcomunal	Shapefile
Edificaciones	Estructura y edificación	Calidad de viviendas	Viviendas en mal estado.	INE	2017	Manzana	Shapefile
Infraestructura y Equipamiento Público	Equipamiento para emergencias	Centros de salud con sala de urgencias	Accesibilidad a centros de salud con salas de urgencias de la comuna.	Ministerio de salud	2021	Subcomunal	Shapefile
Infraestructura y Equipamiento Público	Equipamiento para emergencias	Salud primaria	Accesibilidad a centros de salud primaria de la comuna.	Ministerio de salud	2021	Subcomunal	Shapefile
Infraestructura y Equipamiento Público	Equipamiento para emergencias	Presión demográfica	Nivel de concurrencia de población flotante.	Municipalidad	2022	Subcomunal	Shapefile
Infraestructura y Equipamiento Público	Espacio publico	Sistemas sanitarios	Accesibilidad a bebederos públicos de la comuna.	Municipalidad	2022	Subcomunal	Shapefile

Sistema crítico	Dimensión	Componente	Variable	Fuente de datos	Fecha	Escala espacial	Formato
Infraestructura y Equipamiento Público	Espacio publico		Accesibilidad a baños públicos de la comuna.	Municipalidad	2022	Subcomunal	Shapefile
Infraestructura y Equipamiento Público	Espacio publico	Suelo permeable	Superficies permeables en la comuna.	Municipalidad	2022	Subcomunal	Shapefile
Infraestructura y Equipamiento Público	Naturaleza urbana	Accesibilidad áreas verdes	Accesibilidad a plazas según manzana.	DUPLA ECV	2022	Manzana	Shapefile
Infraestructura y Equipamiento Público	Naturaleza urbana		Accesibilidad a parques según manzana.	DUPLA ECV	2022	Manzana	Shapefile
Infraestructura y Equipamiento Público	Naturaleza urbana	Especies adaptadas al clima	Especies arbóreas recomendadas para la Región Metropolitana.	Municipalidad	2022	Puntual	Excel
Infraestructura y Equipamiento Público	Naturaleza urbana	Sanidad de la vegetación	Estado de áreas verdes.	INE	2019	Subcomunal	Shapefile
Infraestructura y Equipamiento Público	Naturaleza urbana		Árboles con defectos.	Municipalidad	2022	Puntual	Excel
Infraestructura y Equipamiento Público	Naturaleza urbana	Telegestión del riego	Áreas verdes con sistema de telegestión de riego.	Municipalidad	2022	Subcomunal	Excel
Infraestructura y Equipamiento Público	Naturaleza urbana	Eficiencia en el uso del agua	Jardines sustentables ejecutados en la comuna.	Municipalidad	2022	Puntual	Excel
Infraestructura y Equipamiento Público	Protección civil	Bomberos	Accesibilidad a cuerpos de bomberos en la comuna.	Municipalidad	2022	Subcomunal	Shapefile
Infraestructura y Equipamiento Público	Protección civil	Policías	Accesibilidad a cuarteles de carabineros en la comuna.	Municipalidad	2022	Subcomunal	Shapefile

Tabla 8. Datos sistematizados y armonizados para el componente “vulnerabilidad”. Fuente: elaboración propia.

E3. Determinación de las amenazas, exposición y vulnerabilidad

En esta etapa se abordan los componentes que conforman el riesgo climático comunal: amenazas, exposición y vulnerabilidad. Cada componente es caracterizado a escala comunal, evaluando patrones espaciales, distribución y magnitudes. Además, se desarrollan los índices normalizados para cada componente del riesgo, lo que permitirá el cálculo del riesgo comunal en la etapa siguiente.

Contenidos:

I. Amenazas climáticas
II. Exposición de los sistemas críticos
III. Vulnerabilidad de los sistemas críticos

I. AMENAZAS CLIMÁTICAS

1. Inundación

Las inundaciones como amenaza climática son procesos de acumulación de agua superficial. Tienen diversas definiciones dependiendo de la naturaleza del fenómeno, pudiendo manifestarse a nivel comunal como fluviales, o eventos 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),
o urbanas, en forma de inundaciones repentinas, inundaciones en puntos del tejido urbano por mal drenaje e inundaciones de alcantarillado. Entre las causas de las inundaciones se cuentan como relevantes para el riesgo climático las precipitaciones intensas y/o duraderas, deshielos, rotura o colapso de infraestructura de drenaje (aguas lluvias y/o aguas servidas) debido a fenómenos meteorológicos extremos.

a. Caracterización de la amenaza de inundación

En base a la información secundaria disponible para este estudio, la amenaza de inundación se caracterizó con la siguiente información:

- **Probabilidad:** Datos de zonas potencialmente saturables proporcionados por la Municipalidad, levantados en el marco de la realización del *Estudio de capacidad vial y movilidad urbana en la comuna de Providencia* (ECV). La información disponible da cuenta de las zonas con mayor probabilidad de inundación por saturación, considerando para ello niveles de pendiente, morfología urbana y su relación con eventuales flujos superficiales y subsuperficiales. Los datos permiten una resolución de detalle de la probabilidad o grado de peligro potencial de inundación.

- **Evento:** Puntos Críticos Programa Invierno 2021-22 compilados por ONEMI (hoy SENAPRED), los cuales se asocian, principalmente, al malfuncionamiento de la infraestructura de drenaje urbano, tales como canales y colectores de aguas lluvia o alcantarillado. Los puntos críticos tienen asociado un nivel de peligro, en base a la información de evaluación sectorial realizada para el levantamiento de los datos. Se procuró considerar los puntos críticos de dentro de la comuna, así como aquellos de comunas aleñadas pero localizados en condición de borde.

- **Evento:** Registros de eventos de inundación de la base de datos DESINVENTAR para el período 1990-2014[7] en la Región Metropolitana, individualizando los eventos por comuna y comparando el registro con índices de precipitación anual.

Zonas potencialmente saturables

Estas zonas se distribuyen en gran parte del territorio comunal, con niveles más altos en zonas aledañas al río Mapocho y al Cerro San Cristóbal, en donde factores como la pendiente, geomorfología e hidrología local se asocian a una mayor susceptibilidad de inundación. Además, al sur del río se puede observar una mayor susceptibilidad de inundación hacia el surponiente, lo que se asocia a la dirección natural de flujos superficiales hacia el oeste debido a la inclinación de la pendiente por gradiente altitudinal. En este sentido, el perfil de elevación entre las calles Tobalaba en el oriente y General Bustamante muestra una clara disminución en la elevación hacia el poniente, con una inclinación promedio de entre 2,5% y 3,4%.

Las zonas amenazadas se localizan sobre ejes viales y espacios públicos abiertos, lo que se condice con la forma en que fue modelada esta amenaza, la que considera la acumulación de flujos

[7] 2014 es el último año disponible con datos para amenaza de inundación en la base de datos DESINVENTAR.

superficiales en base a la topografía y el área de captación aguas arriba de la zona evaluada. En consecuencia, los interiores de manzana presentan niveles bajos de amenaza ya que están mayoritariamente construidos.

Destacan además los siguientes sectores:

- Eje del río Mapocho con una concentración de áreas amenazadas en el Parque Balmaceda.
- A lo largo del Parque Bustamante.
- Ejes viales en sentido oriente-poniente como Francisco Bilbao, Pocuro, Eliodoro Yáñez, las que configuran bajadas naturales de agua desde la precordillera de los Andes.
- Franja comprendida entre Pedro de Valdivia y Antonio Varas desde Nueva Providencia hacia el límite sur de la comuna. Destacan aquí las zonas aledañas al parque Inés de Suarez y el eje Antonio Varas.
- El Canal San Carlos también se configura como una zona de amenaza.
- En el Cerro San Cristóbal destacan quebradas en sentido norte-sur las que desembocan en el barrio Pedro de Valdivia Norte.

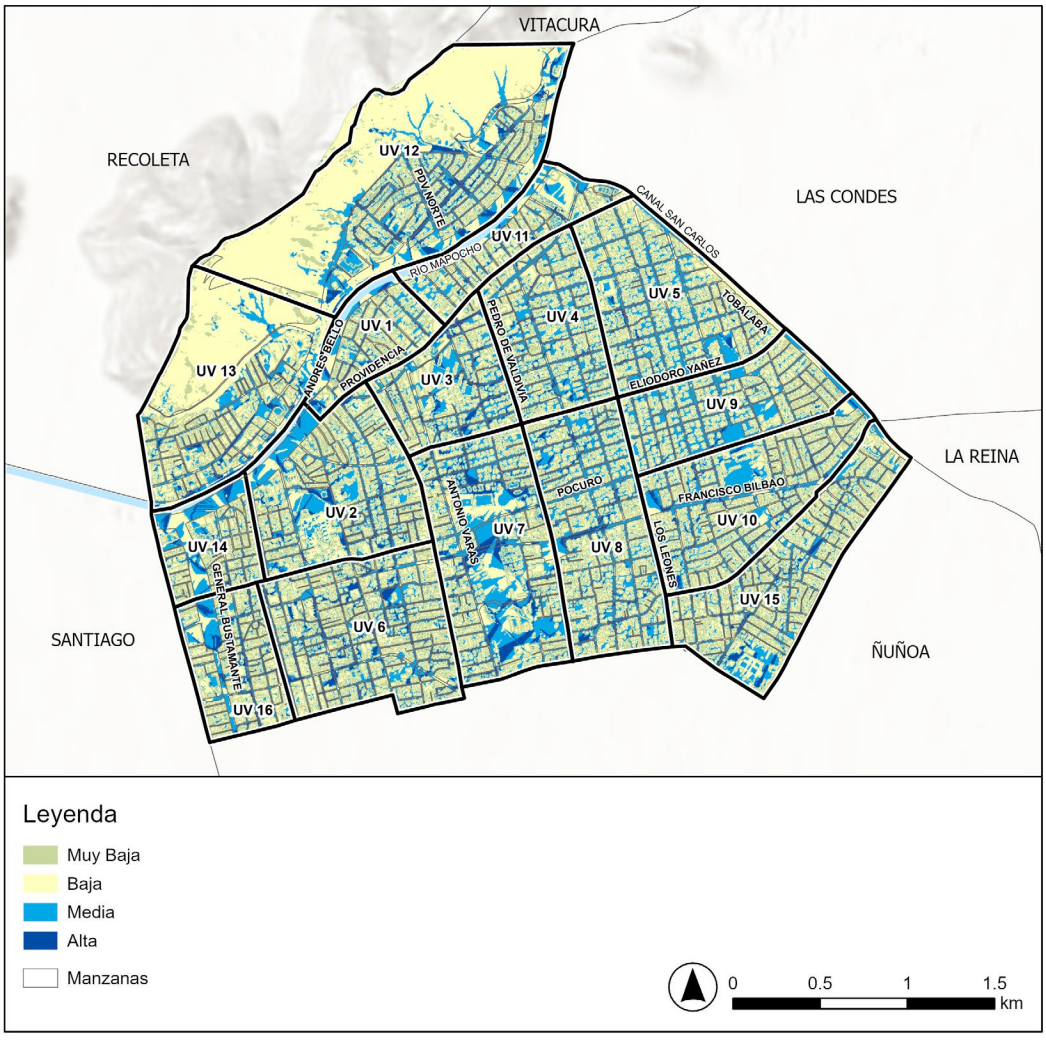


Figura 13. Zonas potencialmente saturables. Fuente: elaboración propia en base a modelación de estudio ECV.

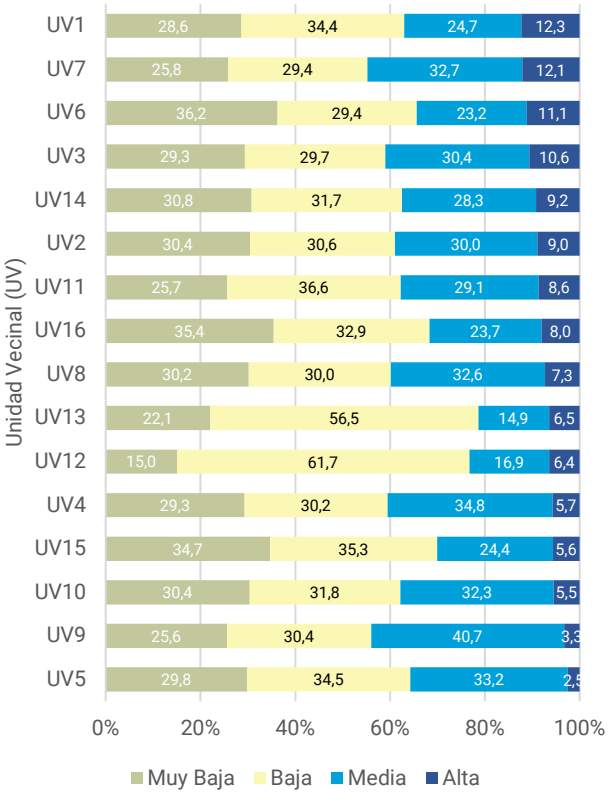


Figura 14. Porcentaje de la superficie de unidades vecinales afectadas por amenaza de inundación según clases de zonas potencialmente saturables. Fuente: elaboración propia en base estudio ECV.

Al agregar los datos a escala de Unidad Vecinal (UV), se observa que las UV1 y 11 en torno al río Mapocho configuran un eje de amenaza, con valores de 12,3% y 8,6% en nivel alto, respectivamente. El sector surponiente concentra UV con porcentajes de amenaza alta entre el 8-12%, configurando una zona altamente amenazada. Destaca también la UV9 que, si bien posee un menor porcentaje de su superficie en amenaza alta, posee el mayor porcentaje (40,7%) en amenaza media.

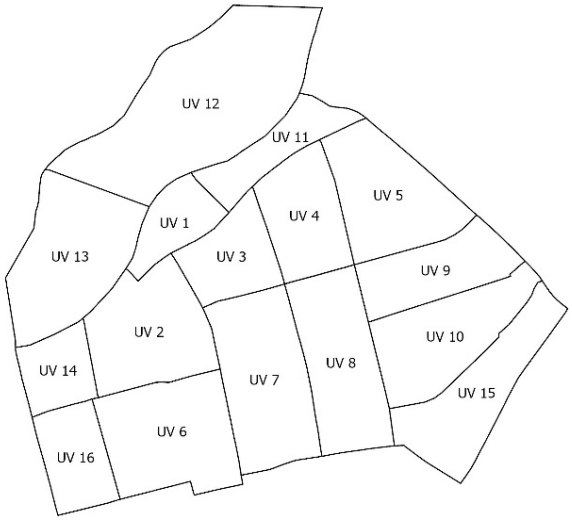


Figura 15. Mapa de referencia con unidades vecinales (UV). Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia.

Cabe mencionar que las zonas potencialmente saturables representan una probabilidad de afectación y la generación de impactos dependerá de una combinación de condiciones como:

- Eventos extremos de precipitación.
- Una mala gestión o afectación de la infraestructura de drenaje urbano.

Al analizar la precipitación, el *Reporte anual de la evolución del clima en Chile* (DMC-DGAC, 2021) indica que la zona central muestra un Índice Estandarizado de Precipitación negativo para los últimos 12 a 14 años, lo que es indicativo de una disminución de la cantidad de precipitación anual producto del cambio climático. Asimismo, todos los índices de precipitación construidos en base a los registros históricos entre 1961-2021 de la Estación Quinta Normal (DMC), muestran una tendencia por década negativa.

No obstante lo anterior, se comienzan a observar anomalías en la distribución temporal de las lluvias con precipitaciones de alta intensidad en meses inusuales. Por ejemplo, enero de 2021 concentró el 35% de la lluvia anual, siendo el mes más lluvioso del año. Es probable que estas anomalías se vuelvan más frecuentes considerando las distintas proyecciones de cambio climático para la zona central. Así, en el contexto de cambio climático, la amenaza de inundación en zonas potencialmente saturables puede manifestarse en Providencia por eventos de alta intensidad en corto tiempo, comparativamente con un escenario normal en el que las precipitaciones presentan una distribución normal entre mayo y septiembre, intensificándose progresivamente en los meses de invierno.

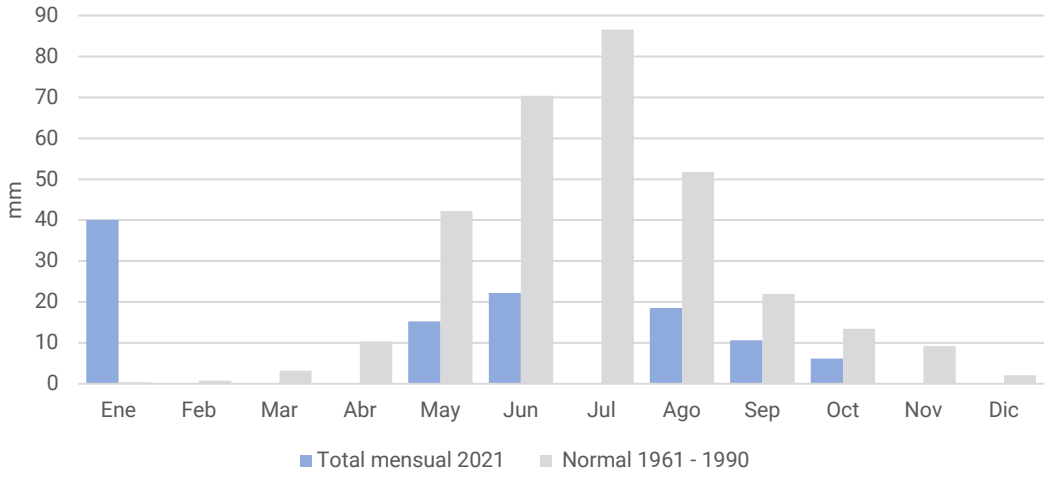


Figura 16. Precipitación mensual para Santiago año 2021 comparado con el promedio 1961-1990. Fuente: elaboración propia en base a datos de la DMC.

Puntos críticos de invierno

La identificación de puntos críticos busca fortalecer las acciones de prevención y preparación del Sistema de Prevención y Respuesta de Desastres para la estación de otoño-invierno. La identificación se realiza por parte de los integrantes de SINAPRED de manera sectorial y a escala comunal, caracterizando aspectos como ubicación, nivel de peligro, frecuencia y acciones de mitigación. Los puntos críticos son evaluados anualmente, por lo que su relevancia a nivel de amenaza es estacional y asociada al año de análisis.

Al analizar la información, se observa que los puntos críticos corresponden a:

- Inundación por colapso de colectores de aguas lluvias y/o alcantarillado.
- Inundación por desborde de canal.
- Deslizamiento, derrumbe, rodado, caída. Se incluyó esta categoría, ya que se asocian generalmente a eventos de precipitación.

Los datos incluyen cuatro puntos críticos al interior de la comuna, siendo tres ligados al colapso de colectores y uno a deslizamiento o derrumbe en el Cerro San Cristóbal y próximo a zonas residenciales en Pedro de Valdivia Norte. Los puntos críticos de otras comunas, pero en condición de borde, corresponden a inundaciones por desborde de cauce, destacando dos puntos en el Canal San Carlos sobre el eje Tobalaba.

Al igual que las zonas potencialmente saturables, los puntos críticos representan una probabilidad de afectación y la generación de impactos negativos dependerá de la existencia de eventos extremos de precipitación y si se han implementado o no medidas de mitigación en dichos puntos.

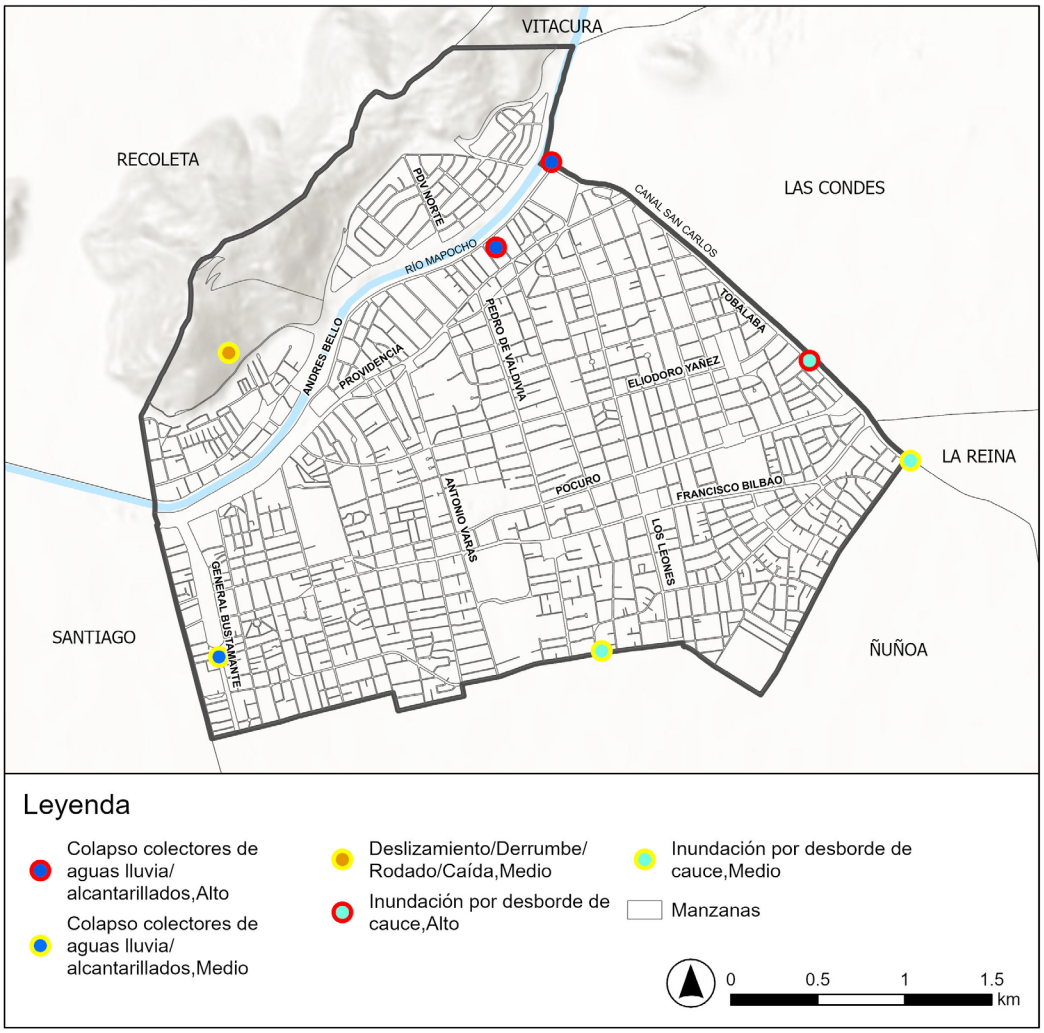


Figura 17. Mapa de puntos críticos de invierno 2021-22 asociados a inundación o eventos asociados a inundación. Fuente: elaboración propia en base a datos de ONEMI (SENAPRED).

Eventos de inundación

Para el período 1990-2014, la Región Metropolitana registra 54 eventos asociados a inundaciones por causas ligadas a precipitaciones. Analizando los datos a escala regional, destacan las inundaciones provocadas durante el fenómeno El Niño en 1997 y otros años lluviosos. Asimismo, los datos no registran inundaciones puntuales para la comuna de Providencia, lo que se puede explicar por varios factores:

- La comuna está localizada en una zona central, urbanizada y con infraestructura de drenaje que dirige los flujos aguas abajo.
- El río Mapocho está controlado con exclusas en su cauce superior y las aguas servidas corren por un colector paralelo al río, por lo que no contribuyen volumen durante eventos de precipitación.

La intensidad de la precipitación como único factor causante parece no ser suficiente para generar inundaciones en Providencia al observar los registros. Se requieren factores coadyuvantes como una gestión inapropiada de la infraestructura durante precipitaciones. Tal es el caso del desborde del río Mapocho en 2016 a la altura de la Embajada de Estados Unidos producto de un mal manejo de obras en el cauce. El desborde afectó el tránsito vehicular inundando la red vial, así como primeros pisos de edificios y niveles subterráneos. El evento llevó a cerrar estaciones de metro (Pedro de Valdivia) y secciones de la Costanera Norte, afectando la movilidad de la comuna (DiarioUChile, 2016).

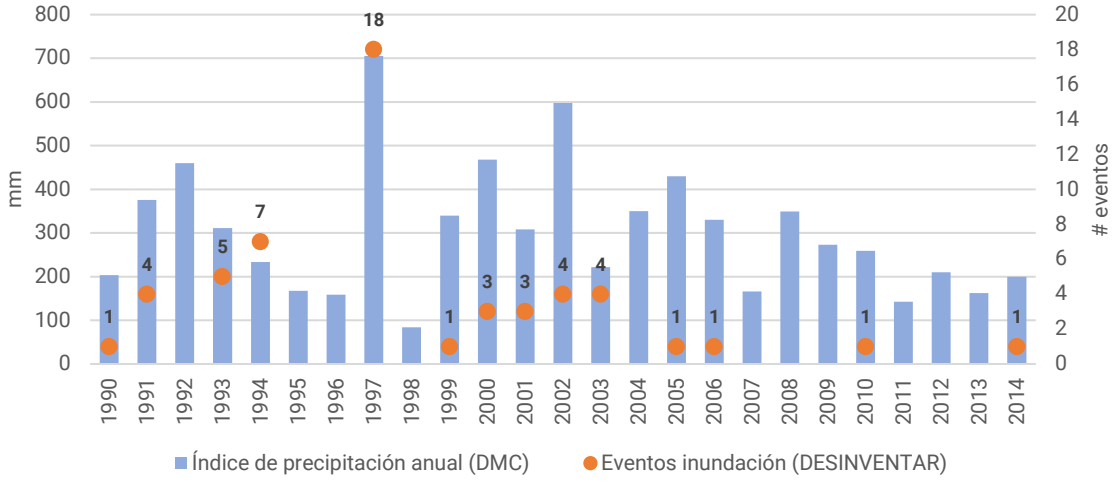


Figura 18. Relación entre eventos de inundación y precipitación anual en la RM. Fuente: elaboración propia en base a datos de DMC y DESINVENTAR.

b. Claves para la gestión de la amenaza de inundación

De toda la información expuesta en torno a la caracterización, se deriva que la generación de impactos por inundaciones en la comuna de Providencia depende de una adecuada preparación ante eventos extremos y anómalos de precipitación, lo que implica acciones como el monitoreo de zonas saturables y la gestión de las mismas en términos de permeabilidad, la gestión de los puntos críticos ligados a infraestructura de drenaje y el monitoreo continuo de faenas o cambios en el territorio comunal, entre otras.

2. Ola de calor

La amenaza de ola de calor se define como un período de tres días consecutivos en que las temperaturas máximas diarias registran valores poco frecuentes que superan el percentil 90% de distribución para el período 1981-2010 de un lugar determinado. Si el evento se presenta por cinco o más días continuos, se denomina Ola de Calor Extrema (DMC). Las olas de calor pueden involucrar mayor mortalidad y morbilidad en grupos vulnerables como la tercera edad, infantes y enfermos crónicos, así como aquellas personas que desarrollan sus actividades laborales al aire libre (IPCC, 2014). Además, suponen una presión en el suministro eléctrico por mayor demanda de aire acondicionado y sistemas de enfriamiento.

a. Caracterización de la amenaza de ola de calor

En base a la información secundaria disponible para este estudio, la amenaza de ola de calor se caracterizó con la siguiente información:

- **Evento:** Registro del total de olas de calor (diurna) y olas de calor extremas anuales entre 2001-2022 utilizando datos climáticos de la estación meteorológica de Quinta Normal. La estación Quinta Normal es de propiedad de la Dirección Meteorológica de Chile y es ampliamente utilizada para representar datos climáticos en la Región Metropolitana debido al registro ininterrumpido de datos meteorológicos.

- **Evento:** Análisis de la temperatura superficial (Land Surface Temperature, LST) de la ola de calor más intensa registrada en la estación Quinta Normal, correspondiente al evento registrado entre el 24 y 28 de enero de 2019. La LST se obtiene a partir del análisis de imágenes satelitales Landsat 8 y sus bandas multiespectrales (Ermida et. al., 2020). Dada la resolución temporal de la plataforma Landsat 8, las imágenes del inicio y el fin de la ola de calor corresponden al 23 de enero y al 8 de febrero.

Registro de olas de calor

El gráfico describe la recurrencia de las olas de calor en la ciudad de Santiago durante las últimas dos décadas. En términos generales es posible observar una tendencia al aumento en la frecuencia de estos eventos, alcanzando un máximo de 9 eventos hacia final de la primera década (2009) y aumentando de manera sostenida hacia el final de la segunda década, siendo 2019 el año con el mayor número de eventos. Asimismo, durante la última década se registraron un mínimo de 6 eventos por año sin excepción.

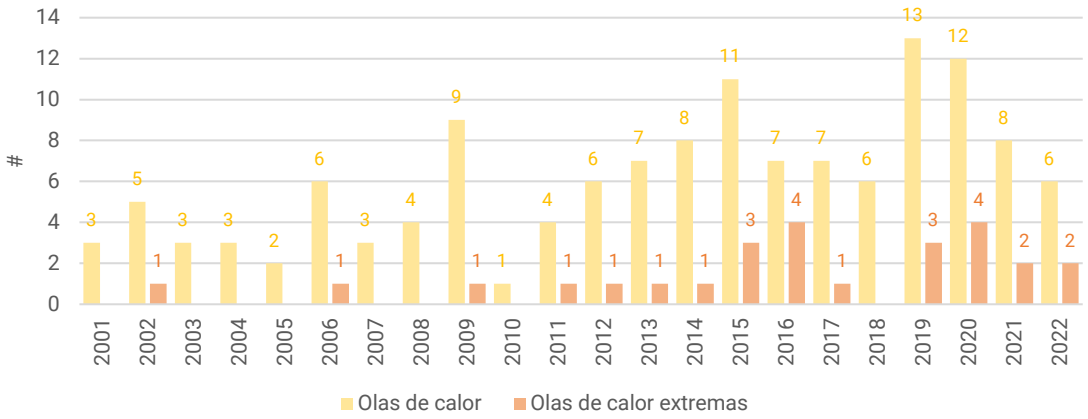


Figura 19. Olas de calor entre 2001-2022 para Santiago (Estación Quinta Normal). Fuente: elaboración propia en base a datos de la DMC.

Las olas de calor extremas, por otro lado, muestran un quiebre en su tendencia de uno por año hasta el 2014, aumentando en cantidad de 2015 en adelante con dos a cuatro eventos por año. Las olas de calor extremas son particularmente problemáticas porque generan un estrés prologando en los sistemas críticos expuestos como grupos etéreos vulnerables e infraestructura clave para el manejo de la amenaza como el arbolado urbano. Otras interdependencias en cuanto a impactos son la sobrecarga de la red eléctrica por el uso de sistemas de climatización y la necesidad adicional de riego para el mantenimiento de áreas verdes.

Estos eventos pueden verse exagerados durante los períodos con ocurrencia de ENOS (El Niño Oscilación del Sur). Un ejemplo de esta relación del fenómeno ENOS sobre las olas de calor puede apreciarse en los eventos de 2015 y 2019 donde se registraron la ola más larga (14 días) y la ola más calurosa (38,3°C), respectivamente, desde que se tiene registro.

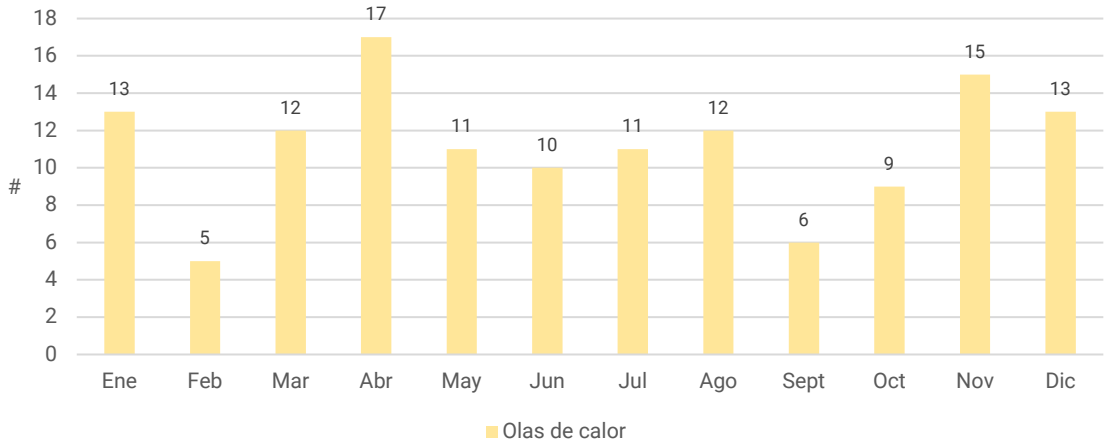


Figura 20. Ocurrencia de olas de calor por mes entre 2001-2002 para Santiago (Estación Quinta Normal). Fuente: elaboración propia en base a datos de la DMC.

Al analizar la ocurrencia de olas de calor por mes para el período 2001-2022, se observa que los meses con la mayor cantidad de eventos corresponden a noviembre, diciembre y enero, junto con abril que es un mes de transición. Se observa además una ocurrencia de olas de calor en los meses de invierno, lo que es indicativo del aumento generalizado de las temperaturas producto del cambio climático. De acuerdo al *Reporte anual de la evolución del clima en Chile* la Región Metropolitana presenta anomalías positivas de la temperatura máxima de hasta tres desviaciones estándar (DMC-DGAC, 2021). Lo mismo ocurre con la temperatura media con tendencias positivas de 0,2°C/ década en otoño, 0,03°C/década en invierno, 0,1°C/década en primavera y 0.2°C/década en verano (DMC-DGAC, 2021).

Temperatura superficial

La distribución de temperaturas superficiales en la comuna de Providencia tiende a agruparse en conjuntos de celdas con valores altos en el sector sur y surponiente de la comuna, y con menor presencia en sectores descubiertos de vegetación como en el Cerro San Cristóbal hacia el límite norte. Los valores bajos de temperaturas, por otra parte, se ubican sobre las riberas del Río Mapocho, áreas adyacentes a la calle Andrés Bello y predominantemente en los sectores centro y este del territorio comunal.

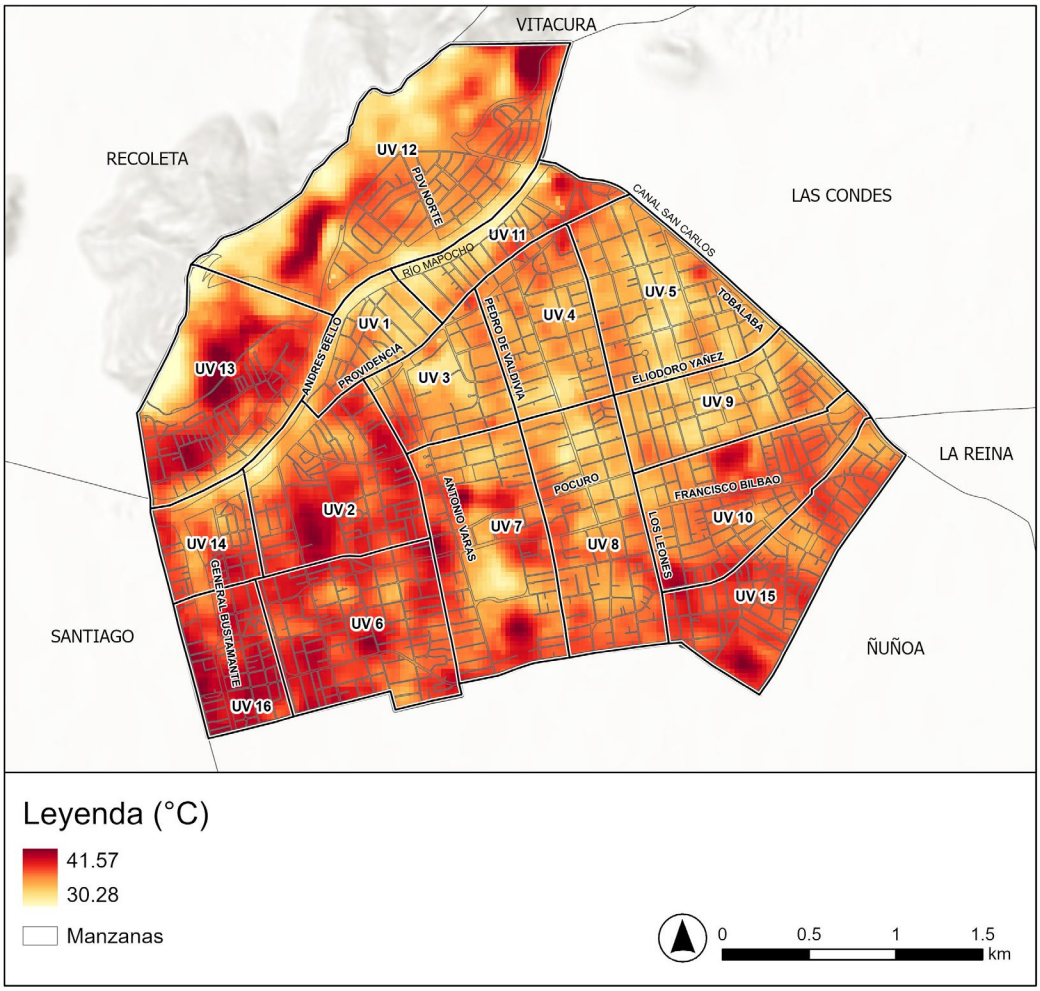
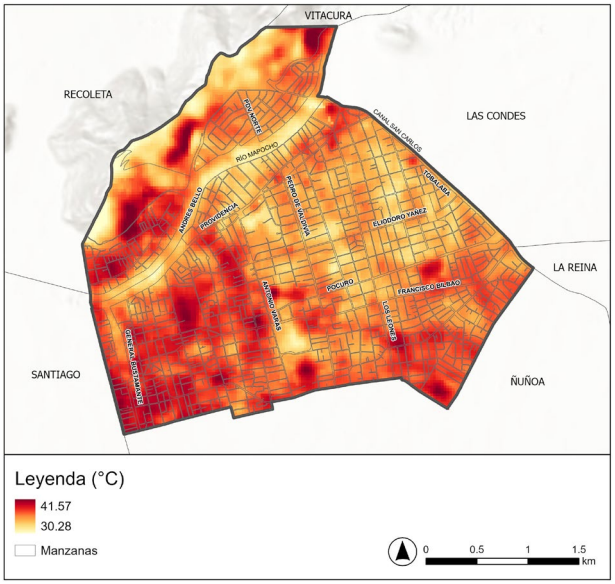
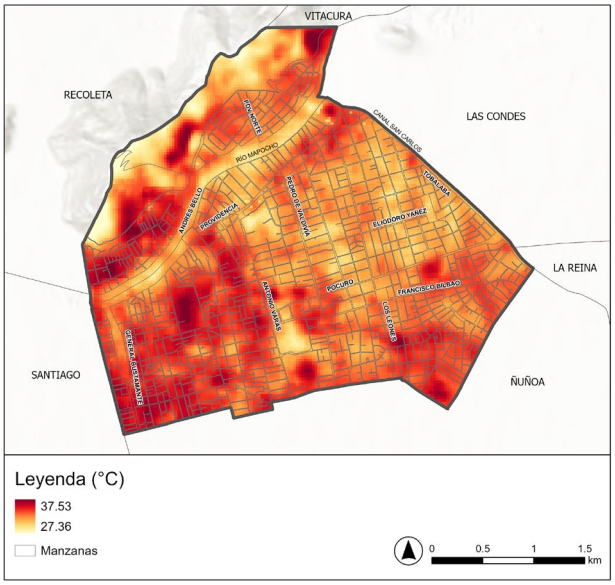


Figura 21. Temperatura superficial de inicio de ola de calor más intensa registrada el 24 de enero de 2019. Fuente: elaboración propia en base a imágenes multiespectrales Landsat 8.

Las variaciones observadas se relacionan con la morfología urbana en cuanto a las diferencias en densidad de construcciones por unidad de superficie en conjunto con la densidad de arbolado urbano, parques y cobertura vegetacional en general. En este sentido, es posible apreciar en los mapas el contraste entre los valores de temperatura superficial en el área que contiene al Parque Inés de Suarez con Los Estanques hacia el norte o la Escuela de Carabineros hacia el sur, donde predominan superficies descubiertas de vegetación y, por ello, mayores temperaturas.





Otro ejemplo del efecto de la vegetación en las temperaturas se observa en la plaza Jacarandá en los conjuntos habitaciones de Antonio Varas con calle Providencia, donde se concentran valores bajos de temperatura superficial. Del mismo modo puede apreciarse la influencia de la densidad de arbolado urbano, notoria en el área comprendida entre los corredores viales Pedro de Valdivia y Los Leones.

Por otro lado, se reconocen altas temperaturas sobre grandes zonas construidas como el Hospital del Salvador, el Colegio San Ignacio del Bosque o el Campus Oriente de la Universidad Católica. Otros sectores que concentran altas temperaturas superficiales pueden observarse en el Barrio Italia, Santa Isabel, El Aguilucho y Bellavista, confirmando la tendencia de un aumento de temperaturas hacia el sector sur y surponiente. Lo anterior puede deberse a una mayor densidad del tejido urbano, el que a su vez presenta una menor presencia de arbolado urbano.

Figura 22. (arriba). Temperatura superficial del inicio y fin de la ola de calor más intensa registrada el 24 de enero de 2019. Fuente: elaboración propia en base a imágenes multiespectrales Landsat 8.

Figura 23. Mapa de referencia con zonas de vegetación: parques, plazas y arboledas. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia.

Complementariamente, se analizó el comportamiento de las temperaturas superficiales durante la ola de calor registrada en enero de 2019 según distintas clases de cobertura de suelo: urbano, áreas verdes o pasto, arboledas, suelo desnudo y agua. Para ello, se realizó una clasificación a partir de imágenes satelitales Sentinel 2 a diciembre de 2022.

Cobertura de suelo	T° máxima	T° mínima	T° promedio
Urbano	41,3	30,3	36,9
Arboledas	41,2	30,3	35,9
Áreas verdes	40,8	31,9	36,4
Suelo desnudo	41,6	30,9	36,9
Agua	37,3	31,9	34,9

Tabla 9. Temperatura superficial (°C) por cobertura de suelo. Fuente: elaboración propia.

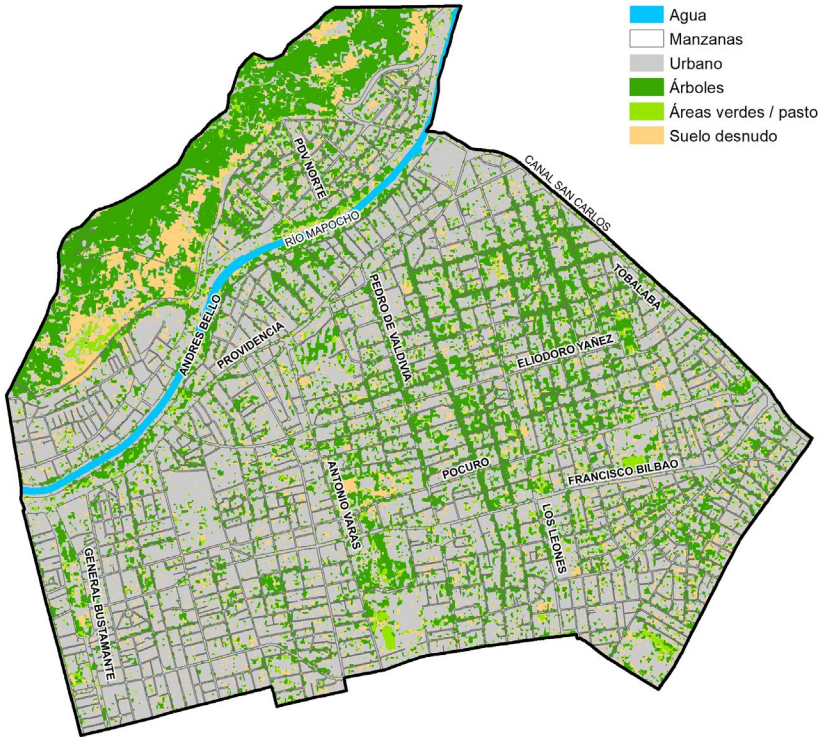
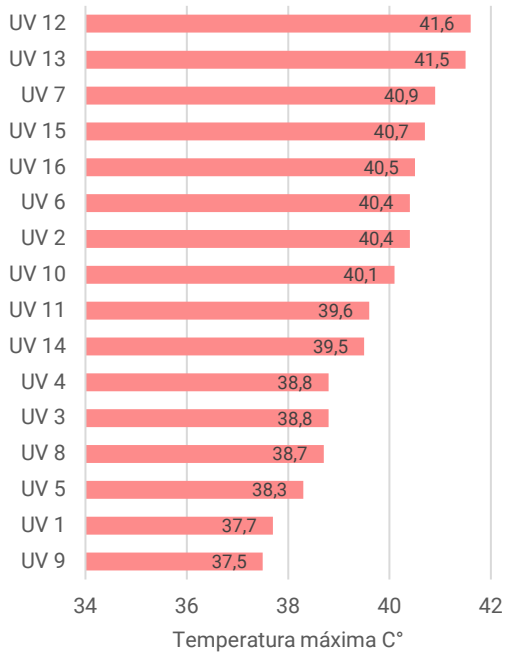


Figura 24. Mapa de referencia con coberturas de suelo. Fuente: elaboración propia en base a datos de Sentinel 2.

El uso urbano promedia las temperaturas superficiales más altas en conjunto con el uso suelo desnudo. Las máximas temperaturas superficiales se registran en el uso suelo desnudo, seguido por el uso urbano, ambos con registros que superan los 41°C. Existe una diferencia de a lo menos 1 grado Celsius entre el promedio más alto y el más bajo, este último registrado en la cobertura correspondientes a arboledas.

El mismo análisis se llevó a cabo para las unidades vecinales (UV), indicando las temperaturas máximas, mínimas y el promedio observado, considerando todas las celdas de datos de la temperatura superficial al interior de la UV. Las UV12 y 13 presentan las temperaturas máximas debido a la gran cantidad de suelo desnudo en el Cerro San Cristóbal, lo que ha aumentado en los últimos años debido al deterioro de la salud de la vegetación. Ya en la zona urbana, las UV7, 10, 15 16, 6 y 2 hacia el sur y surponiente de la comuna, destacan por tener temperaturas máximas sobre los 40°C. El resto de las UV marcan temperaturas bajo los 40°C llegando a un mínimo de 37,5° en la UV9.

Unidad Vecinal	T° Máxima	T° Mínima	T° Promedio
UV 1	37,7	33,1	35,3
UV 2	40,4	32,7	37,6
UV 3	38,8	33,0	35,9
UV 4	38,8	33,0	35,9
UV 5	38,3	33,0	35,5
UV 6	40,4	35,0	37,9
UV 7	40,9	33,0	36,8
UV 8	38,7	33,1	36,2
UV 9	37,5	33,9	35,5
UV 10	40,1	34,8	36,9
UV 11	39,6	31,9	35,7
UV 12	41,6	31,7	36,0
UV 13	41,5	30,4	37,1
UV 14	39,5	33,6	36,9
UV 15	40,7	35,1	37,4
UV 16	40,5	36,3	38,7



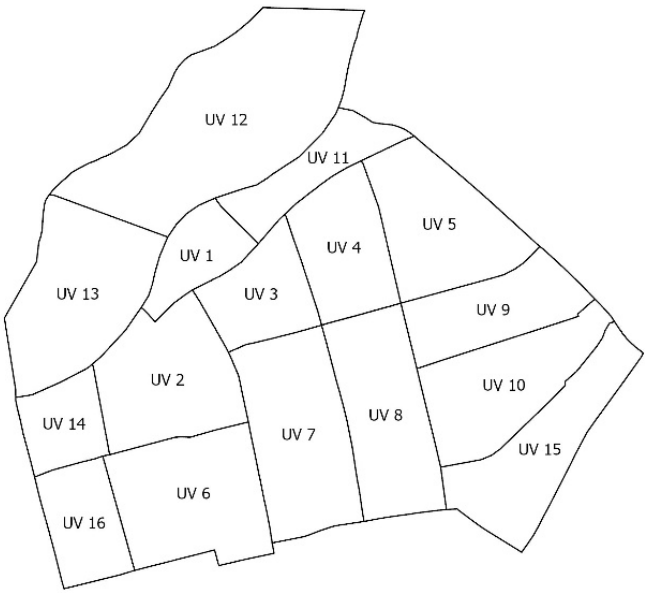


Tabla 10. (arriba izq.): Temperatura superficial (°C) por unidad vecinal. Fuente: elaboración propia.

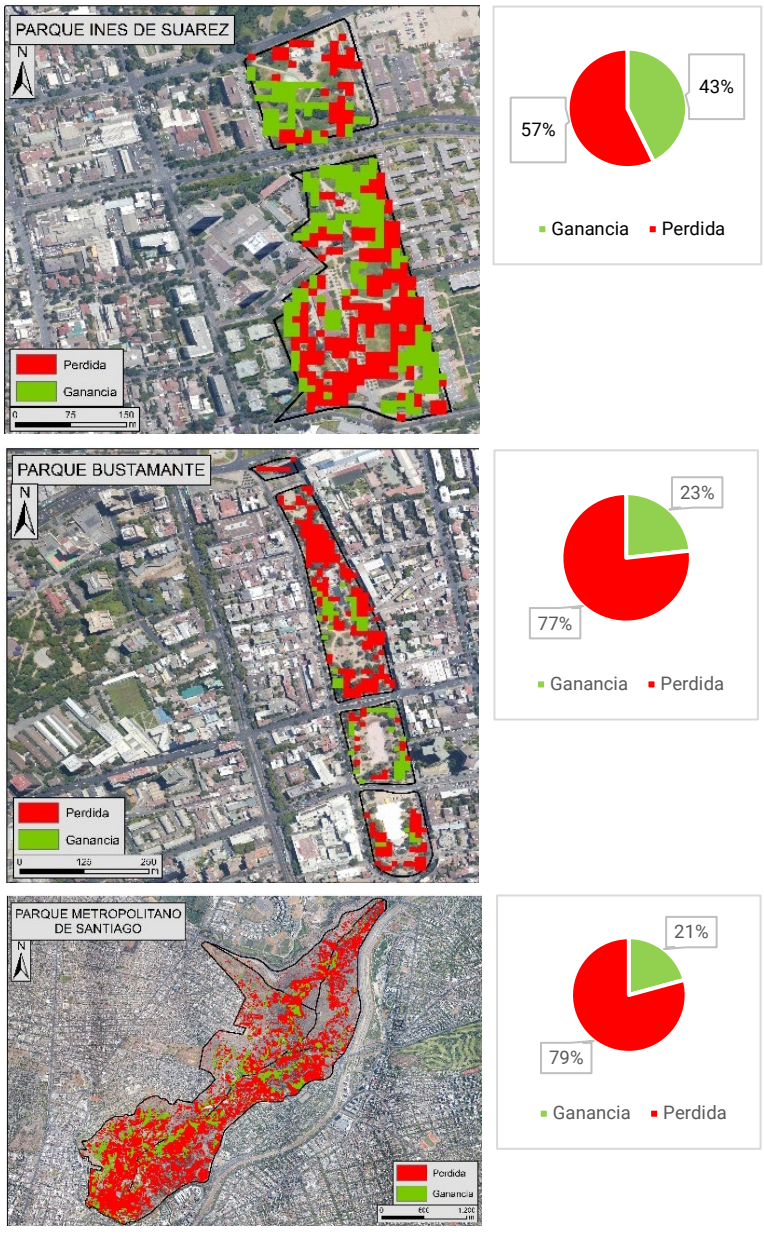
Figura 25. (arriba der.): Ranking de temperatura máxima por UV. Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Mapa de referencia con unidades vecinales (UV). Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia.

b. Claves para la gestión de la amenaza de ola de calor

La tendencia en aumento de olas de calor tiene el potencial de afectar no sólo a población vulnerable y el bienestar de las personas como se mencionó, sino también las áreas verdes urbanas que proveen capacidad de adaptación frente a estos fenómenos regulando las temperaturas y el microclima urbano. Si se considera además la sequía y, con ello, una disminución potencial de la disponibilidad de agua para irrigación, aumenta el riesgo de perder una infraestructura verde clave para adaptarse al cambio climático en Providencia.

Para entender esta problemática, se evaluó la salud del arbolado urbano en tres parques de la comuna, analizando la diferencia de NDVI (índice que indica la salud de la vegetación) entre dos fechas estivales (febrero 2018 y febrero 2020). Los resultados indican una pérdida del vigor de la vegetación del arbolado urbano con una tendencia al pardeamiento temprano y mortandad.



Al haber mayores temperaturas por periodos prolongados, aumenta la evapotranspiración, que es el agua evaporada por las hojas para la fotosíntesis. Además, la disminución de precipitaciones implica una menor recarga de las napas subterráneas y, con ello, menos agua disponible naturalmente a nivel de las raíces. Lo anterior implica un aumento en los requerimientos de riesgo.

Investigaciones indican que para áreas verdes de <30 ha, se generan diferencias de al menos 1°C menos con los alrededores edificados y para áreas verdes entre 30-500 ha las diferencias son de 3°C más frío (von Stulpnagel *et al.,* 1990). Las plazas de Providencia promedian 0,2 ha siendo la más grande de 1,7 ha (Loreto Cousiño). Sin contar el Cerro San Cristóbal, los parques no superan las 5,8 ha (Parque Balmaceda).

Considerando lo anterior, se requiere de un ajuste urgente de las prácticas de mantención de grandes áreas verdes urbanas, principalmente en el riego de los árboles maduros que son los que proveen una mayor capacidad adaptativa frente a olas de calor y su pérdida no es reemplazable en el corto plazo.

Figura 27. Análisis de ganancia o pérdida de vigor en la cobertura arbórea de parques urbanos mediante la diferencia de los índices de vegetación (NDVI) entre 2018-2020. Fuente: elaboración propia en base a imágenes Sentinel 2.

3. Sistema frontal

Esta amenaza comprende episodios meteorológicos provocados por zonas de contacto entre dos masas de aires de distinta temperatura, humedad y/o densidad. Se caracterizan por manifestar vientos y/o precipitaciones de intensidad variable y son potencialmente destructivos.

a. Caracterización de la amenaza de sistema frontal

En base a la información secundaria disponible para este estudio, la amenaza de sistema frontal se caracterizó con la siguiente información:

- **Evento:** Alertas meteorológicas emitidas por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) para el período 2015-2022 en la Región Metropolitana. Se incluyen tres tipos: avisos, alertas y alarmas.

Alertas meteorológicas

Debido a la naturaleza de los datos disponibles, sólo es posible caracterizar esta amenaza mediante los patrones regionales de precipitación y viento, los que dependiendo de su comportamiento, gatillarán diversos tipos de alertas. Para Santiago existen dos estaciones meteorológicas a nivel urbano (Quinta Normal y Eulogio Sánchez, Tobalaba), por lo que no es posible obtener datos a una resolución comunal.

Las precipitaciones se concentran en los meses correspondientes al invierno, siendo el mes de junio el que concentra las mayores precipitaciones promedio, tomando el rango temporal de mediciones de la estación Quinta Normal desde 1967 a 2022. Como la comuna se encuentra situada en un tipo de clima mediterráneo de verano seco, es de esperar que las precipitaciones en la época estival sean las con los registros más bajos, dentro de esta consideración, febrero se presenta como el mes con menor precipitación promedio dentro del rango de años estudiado.

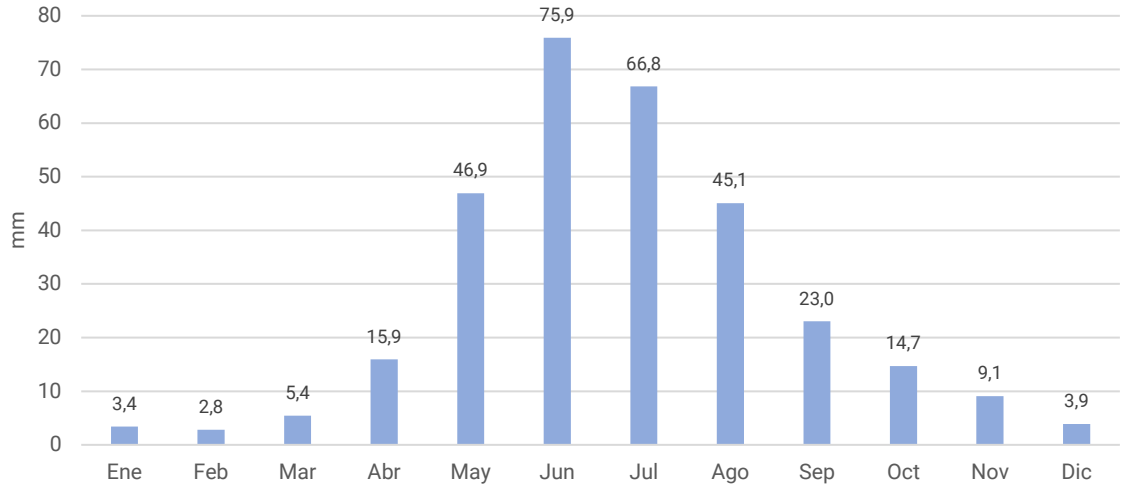


Figura 28. Precipitación promedio mensual 1967-2022 (Estación Quinta Normal). Fuente: elaboración propia en base datos de la DMC.

Por otro lado, los vientos se concentran en dirección S (sur) y SW (suroeste). Como referencia, se analizó la velocidad y dirección predominante de los vientos para los años 2000 y 2022. En el 2000, los vientos con mayor fuerza se registraron en agosto con 33 km/h, mientras que en el 2022, se registraron vientos entre 40-50 km/h en el mes de julio. Lo anterior, permite inferir que los vientos de mayor intensidad tienden a registrarse en los meses de invierno.

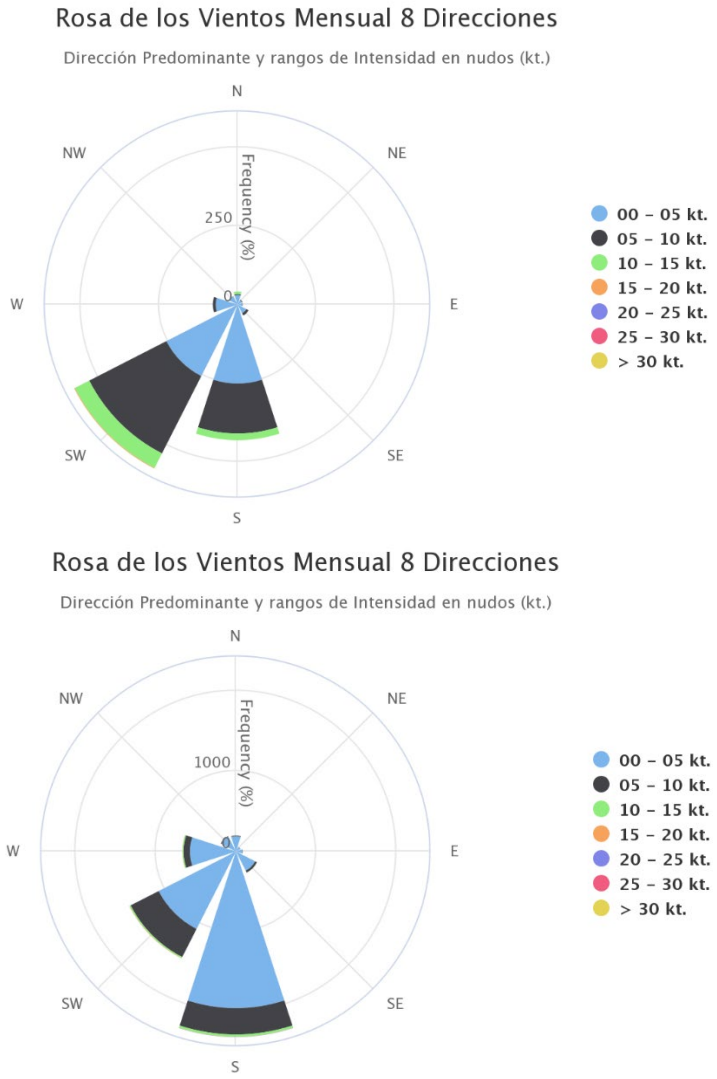


Figura 29. Velocidad y dirección de los vientos para los años 2000 (arriba) y 2022 (abajo). Fuente: Estación Quinta Normal, DMC.

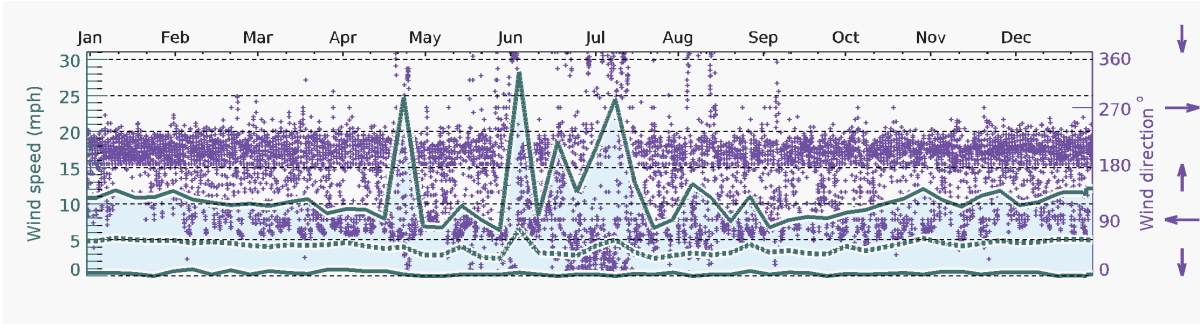


Figura 30. Velocidad y dirección de los vientos predominantes para Santiago. Fuente: Meteoblue.

Dentro de la variabilidad espaciotemporal descrita para la precipitación y vientos, pueden generarse eventos de carácter extremo. Estos eventos son clasificados en tres tipos de alertas según la Dirección Meteorológica de Chile:

- **Aviso:** Informe meteorológico cualitativo, que es emitido con una antelación de hasta cinco días previos al inicio de la ocurrencia de un evento meteorológico que alcanza una categoría de normal a moderado.

- **Alerta:** Informe especial de carácter cuantitativo, que es emitido con una antelación de hasta dos días previos al inicio de la ocurrencia de un evento meteorológico que alcanza la categoría de moderado a fuerte.

- **Alarma:** Informe de carácter cuantitativo, que es emitido con una antelación de hasta doce horas previas al inicio de la ocurrencia de un evento meteorológico que alcanza la categoría de intenso o extremo.

Estas alertas se emiten de forma documental por escrito en formato PDF. Se realizó una sistematización y digitalización de las alertas para poder entender los eventos asociados para la Región Metropolitana. Para el período analizado, se registraron 296 avisos (80% de los registros), 69 alertas y una alarma (2022), aumentando significativamente los últimos tres años (2020-22) como se observa los gráficos. Los eventos se concentran en los meses de transición (abril, mayo, septiembre, octubre) y, como es de esperar, en los meses de invierno.

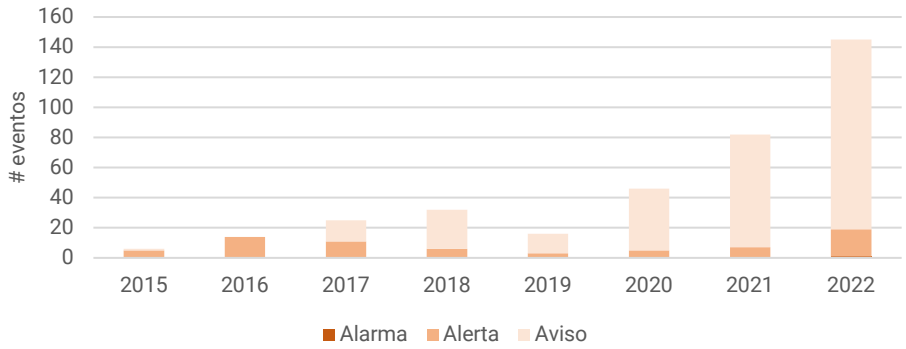


Figura 31. Número de alarmas, alertas y avisos por año (2015-22). Fuente: elaboración propia en base a datos de la DMC.

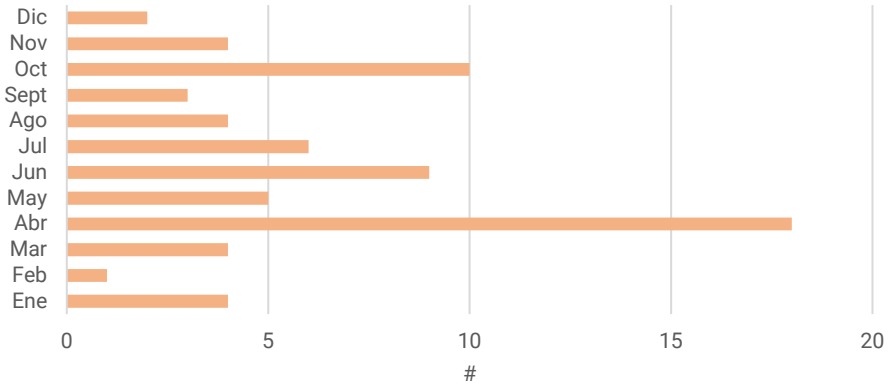


Figura 32. Distribución de alertas y alarmas por mes según registro para el período entre 2015-22. Fuente: elaboración propia en base a datos de la DMC.

Al analizar las causas de los distintos tipos de alerta meteorológica en el registro, se observa que la mayoría corresponde a tormenta eléctrica (42%). Los eventos que incluyen el componente viento totalizan 37%, seguido de sólo precipitación con 17%. Esta amenaza cobra relevancia en la medida que se incorpora el componente viento, dado que los impactos de esta variable, y su gestión correspondiente son muy diferentes a lo que gatillaría un evento de precipitación fuerte, como es el caso de las inundaciones.

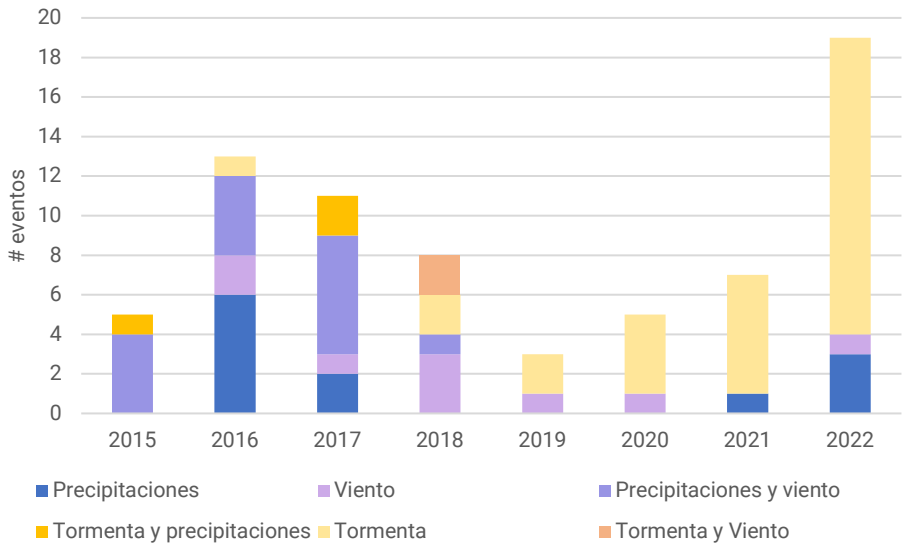


Figura 33. Registro de avisos, alertas y alarmas según su origen o causa meteorológica para los años 2015-2022. Fuente: elaboración propia en base a datos de la DMC.

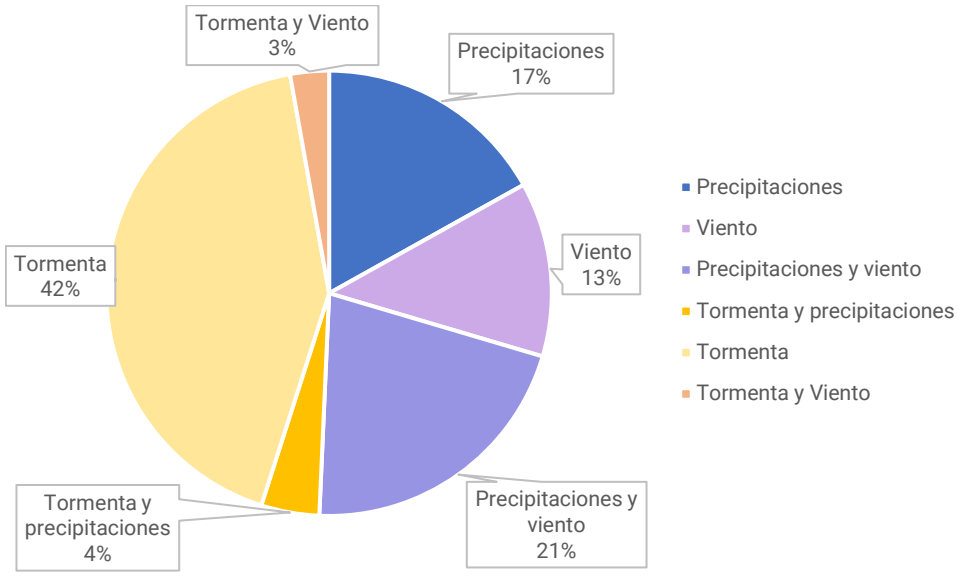


Figura 34. Proporción de avisos, alertas y alarmas según su origen o causa meteorológica. Fuente: elaboración propia en base a datos de la DMC.

b. Claves para la gestión de la amenaza de sistema frontal

De acuerdo a la caracterización, esta amenaza puede tener diversos orígenes, todos relacionados con eventos meteorológicos de cierta magnitud y con variables de precipitaciones y/o viento. Para diferenciarla de la amenaza de inundación, la que puede estar gatillada por los mismos eventos meteorológicos, el sistema frontal cobra relevancia desde el punto de vista de la gestión cuando viene acompañado de vientos de magnitud.

En un entorno urbano el comportamiento de los vientos está relacionado, por un lado, con la dirección y velocidad de los vientos regionales predominantes y, por otro, con la morfología urbana compuesta por la volumetría y porosidad de las edificaciones, el perfil las calles y accidentes topográficos. Estos parámetros se conceptualizan y analizan en lo que se denomina “cañón urbano”, cuyos principales parámetros afectando el comportamiento del viento son la altura de los edificios (H) y ancho de calle (W). En conjunto, estos factores pueden acelerar el viento, aumentado su velocidad a nivel local y generando turbulencias (movimiento cilíndrico paralelo al suelo) y vórtices (movimiento cilíndrico perpendicular al suelo) que pueden afectar diversos tipos de infraestructura como líneas de transmisión eléctrica, telefonía e internet, alumbrado público y árboles.

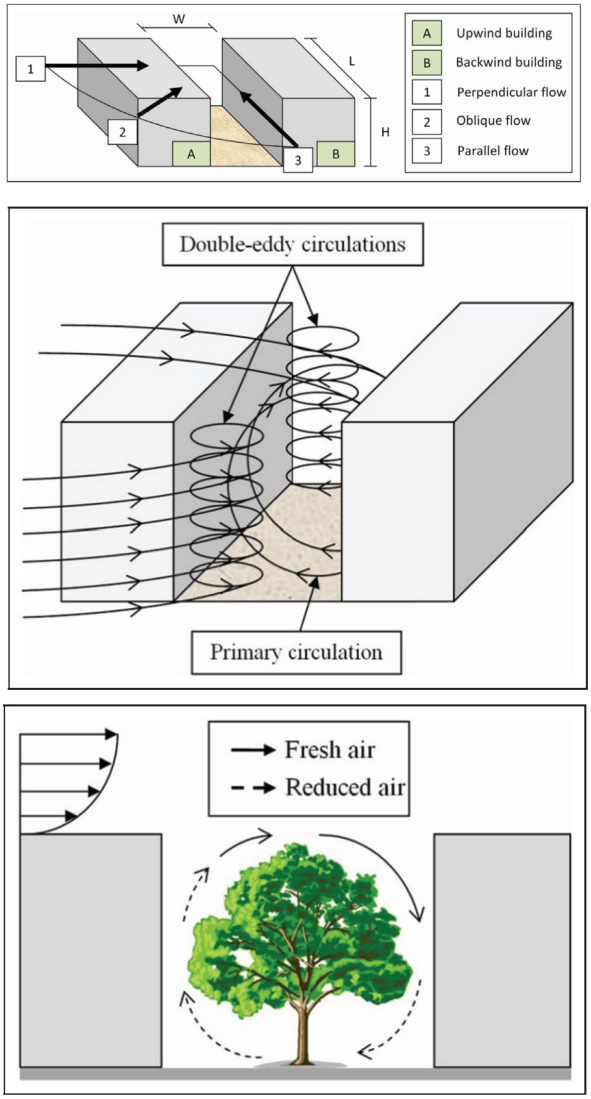


Figura 35. (arriba): Parámetros morfológicos de un cañón urbano. Medio: Generación de turbulencias (movimiento cilíndrico paralelo al suelo) y vórtices (movimiento cilíndrico perpendicular al suelo) con viento perpendicular al cañón. (abajo): Flujo de aire en un cañón arborizado. Fuente: Yazid et al.

La investigación en torno a microclimas urbanos indica que las corrientes de viento paralelas a la dirección de las calles generan menores turbulencias y vórtices. Por el contrario, si los vientos son perpendiculares o diagonales se generarán perturbaciones (Forman, 2014). En las esquinas, el viento tiene a generar turbulencias en espiral paralelo al suelo, cuya velocidad aumenta con la altura. Otros factores, como las diferencias de temperatura en los cuerpos edificados por exposición al sol, pueden generar mayores turbulencias. Tal es el caso de las calles en sentido este-oeste, que durante invierno o verano tienen mayor tiempo de exposición solar (Forman, 2014). Otro aspecto interesante es la relación entre altura de los edificios (H) y ancho de calle (W). En la medida que se mantiene una relación H/W de 1 las corrientes tienen a pasar sobre las estructuras, generando turbulencias menores. Cuando esa relación se reduce (mayor ancho de calle, menor altura edificara), aumentan las turbulencias y vórtices (Forman, 2014). Si la relación aumenta (mayor altura, menor ancho de calle), se disminuyen las turbulencias.

El comportamiento del viento a nivel local es idiosincrático a la morfología urbana. Depende principalmente de la relación entre la altura edificada (H) y el ancho de calle (W) y la presencia de arborización. Si bien H y W son parámetros que se pueden regular normativamente, es poco probable que introduzcan condiciones edificatorias exclusivamente en función de los vientos. Por otro lado, la introducción de una política de arborización ordenada considerando distanciamientos regulares y copas homogéneas, sí es factible. Adicionalmente, la gestión de los sistemas frontales con variables de viento puede enfocarse en la identificación de puntos críticos. Una forma es identificar puntos críticos es en base a la cantidad de eventos, por ejemplo, de caída de cables, postes, alumbrado y/o árboles. Complementariamente, la identificación de puntos críticos puede realizarse a partir del monitoreo preventivo de la infraestructura, identificando activamente daños o problemas. Cualquiera sea la forma de identificación, la gestión de los puntos críticos será clave para reducir la vulnerabilidad de los sistemas críticos comunales ante esta amenaza.

4. Sequía

La sequía consiste en un periodo prolongado de tiempo con niveles de precipitación considerablemente inferior a la normal registrada, lo que causa una disminución apreciable en el caudal de los ríos y en el nivel de los lagos y/o en el agotamiento de la humedad del suelo y el descenso de los niveles de aguas subterráneas, afectando negativamente los sistemas de producción y en casos extremos, el abastecimiento para consumo humano (ONEMI, 2021).

a. Caracterización de la amenaza de sequía

En base a la información secundaria disponible para este estudio, la amenaza de sequía se caracterizó con la siguiente información:

- **Probabilidad:** Índice de Sequía de Palmer (Palmer Drought Index, PDSI) e Índice de Precipitación Estandarizado (SPI o IPE). El PDSI mide el nivel de sequía meteorológica acumulado a 12 meses a partir de observaciones mensuales de la precipitación y temperatura mediante datos satelitales. Se evaluaron los datos entre los años 2000-2019 disponibles en la plataforma del Centro de la Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2).

- **Probabilidad:** El Índice de Sequía Estandarizada (SPI/IPE) evalúa la sequía meteorológica a partir de desviaciones de las precipitaciones del promedio climatológico acumuladas a 12, 24 y 48 meses. El índice es desarrollado por la Dirección Meteorológica de Chile y se evaluó para la estación meteorológica de Quinta Normal entre los años 2000-2021.

- **Evento:** Registro histórico de Decretos de Escasez Hídrica para el período 2008-2022 de acuerdo a los datos compilados por la Dirección General de Aguas (DGA).

- **Evento:** Análisis descriptivo de la tendencia de la temperatura, precipitación y estado de la vegetación para evaluar la sequía a escala comunal. Se analizaron tendencias de al menos 10 años utilizando la herramienta SIG Google Earth Engine, modificando el algoritmo de Banerjee et al., 2021 para la medición de series temporales de productos satelitales para cada variable.

Índices de sequía meteorológica

En términos generales, los índices de sequía meteorológica muestran una tendencia negativa en las últimas dos décadas, lo que implica que la sequía ha tenido un impacto acumulativo prolongado en los sistemas productivos y naturales de la Región Metropolitana.

Los índices son indicativos de la sequía como un fenómeno de características regionales. Se manifiesta en escalas temporales y espaciales mayores, afectando no sólo a Santiago y la Región Metropolitana, sino también a toda la zona central la que concentra la mayoría de la población del país y es la principal zona productiva agropecuaria.

El Índice de Sequía de Palmer (PDSI) va de 4 (húmedo) a -4 (seco). Los valores anuales del PDSI (acumulados a doce meses) muestran una tendencia negativa para el rango temporal analizado. Desde 2007 en adelante los valores son todos negativos y van desde sequía incipiente a sequía severa. Destaca el rango entre 2012 y 2019 que varía entre sequía moderada y severa.

El Índice de Sequía Estandarizada (SPI) va de -3,5 (seco) a 3,5 (lluvioso). Los valores del SPI anuales (acumulados a doce meses) muestran una tendencia de -0,1 por década. A partir de 2007 se pueden observar valores negativos, siendo los valores más bajos en 2019 y 2021. Para los años analizados, el índice de sequía varía entre sequía ligera y moderada. Sin embargo, la sequía se acrecienta en la medida que se evalúa el índice a más meses (ver mapas con SPI entre 24, 36 y 48 meses).

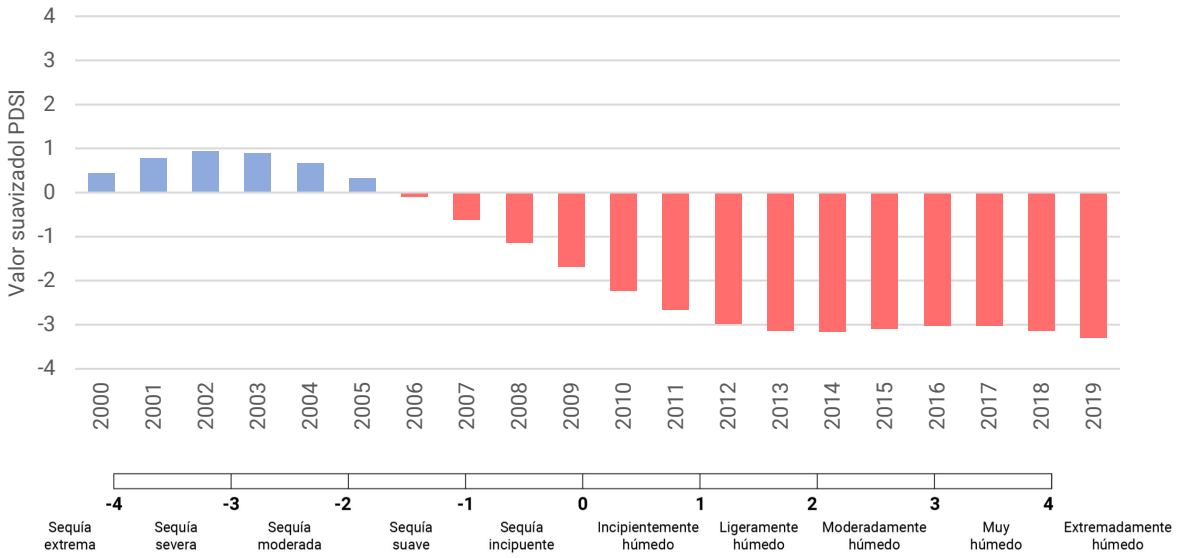


Figura 36. Índice de Sequía de Palmer (PDSI) con valores anuales (12 meses) entre 2000-2019 para Santiago. Fuente: elaboración propia en base a datos del CR2.

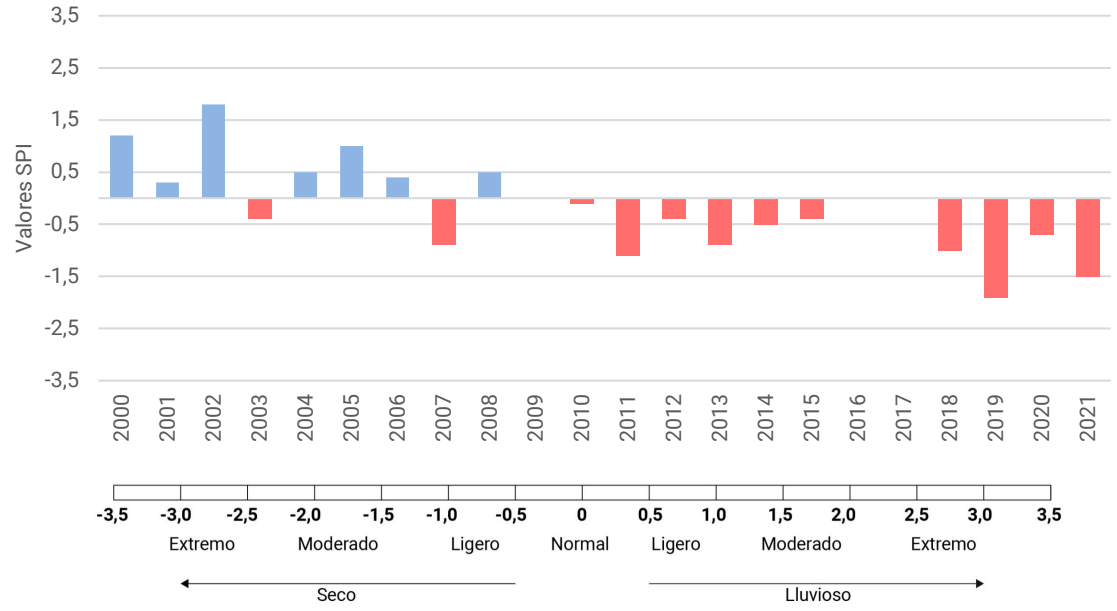


Figura 37. Índice de Sequía Estandarizada con valores anuales (12 meses) para la estación Quinta Normal entre 2000-2021. Fuente: elaboración propia en base a datos DMC.

Al evaluar los valores del SPI acumulados a 24, 36 y 48 meses, se observan valores extremos (-2,0 a -3,5) para la zona de Santiago como se aprecia en los mapas. Estos datos dan cuenta de que la sequía es un fenómeno acumulativo que genera un estrés constante donde se manifiesta.

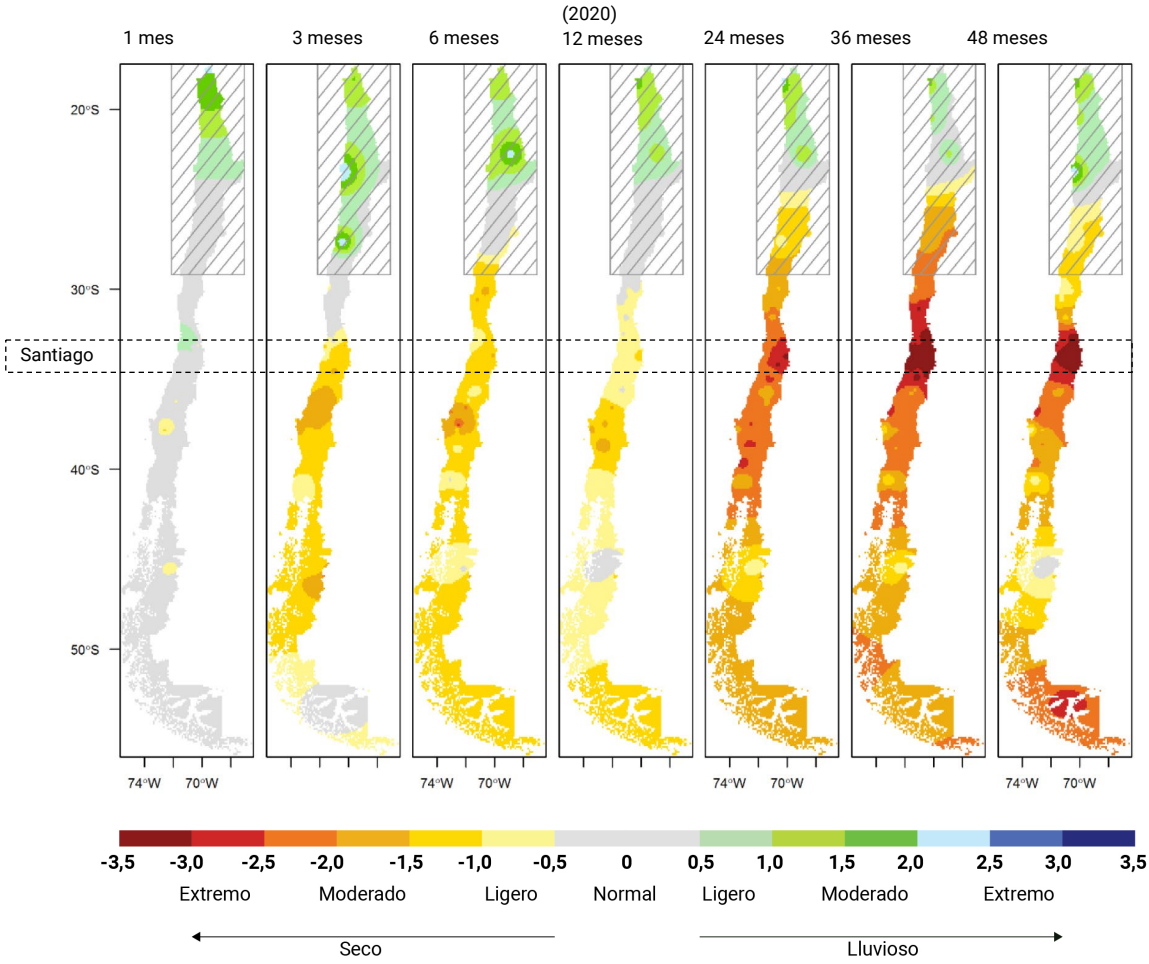


Figura 38. Evolución del índice SPI acumulado a 1, 3, 6, 12 meses al año 2020 y acumulado a 24, 36 y 48 meses (Rango 2016-2020). Fuente: modificado de la DMC.

Decretos de escasez hídrica

Otra forma de entender la sequía son los Decretos de Escasez Hídrica. El Art. 314 del Código de Aguas permite declarar Zonas de Escasez Hídrica[8] a través de un Decreto Presidencial previo informe técnico de la DGA. Los Decretos de Escasez facultan a la autoridad para implementar medidas extraordinarias para mitigar los daños producidos por la sequía. El registro entre 2008 - 2022 muestra un aumento sustancial de los decretos de 2019 en adelante, pasando de un total de 6 en 2018 a 22 en 2019 y sobre 40 entre 2020 y 2022. Además, desde 2019 se incorporan por primera vez comunas urbanas de la Provincia de Santiago (Lo Barnechea, Las Condes, Vitacura y Pudahuel). El patrón espacial de los decretos muestra que las comunas más afectadas por condiciones de sequía son aquellas del sector norte y surponiente de la RM, lo que coincide con las comunas de vocación principalmente rural.

Provincia	Comuna	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2919	2020	2021	2022	Total
Chacabuco	Colina	1								1		1	1	2	2	2	10
	Lampa									1				1	2	2	6
	Tiltil	1			1	1				1		1	1	2	2	2	12
Cordillera	Pirque												1	2	2	2	7
	Puente Alto												1	1	2	2	6
	S.J. de Maipo												1	2	2	2	7
Maipo	Buin												1	2	2	2	7
	Paine												1	2	2	1	6
	San Bernardo												1	2	2	2	7
	C. de Tango													2	2	1	5
Melipilla	María Pinto					1							2	1	2	2	8
	San Pedro	1				1				1	1	1	2	2	2	2	13
	Alhué	1				1					1	1	2	2	1	1	10
	Curacaví					1				1	1	1	2	1	2	2	11
	Melipilla	1			1	1					1	1	2	1	2	2	12
Talagante	Padre Hurtado													2	2	2	6
	Peñaflor													2	2	2	6
	Talagante													2	2	2	6
	El Monte													2	2	2	6
	Isla de Maipo												1	2	2	2	7
Santiago	Lo Barnechea												1	2	1	2	6
	Las Condes												1	2	1	2	6
	Vitacura												1	2	1	2	6
	Pudahuel													2	2	2	6

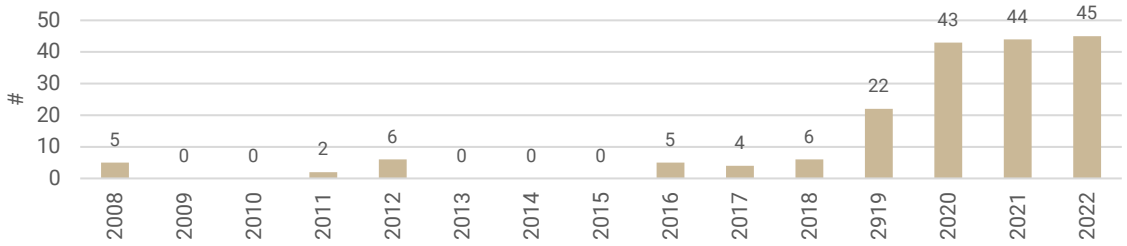


Tabla 11. (arriba): Decretos de escasez por comuna entre 2008-22. Fuente: elaboración propia en base a datos DGA.

Figura 39. (abajo): Total de decretos de escasez por año entre 2008-22. Fuente: elaboración propia en base a datos DGA.

[8] Para declarar una zona de escasez hídrica en la RM se debe determinar la existencia de una sequía severa en base a umbrales definidos por la DGA: (a) Los caudales medios mensuales acumulados de los últimos 6 meses tengan un Índice de Caudal Estandarizado (ICE) igual o menor a (-1.04), para estar en presencia de una situación de escasez hídrica. (b) Las precipitaciones acumuladas de los últimos 6 meses tengan un Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) igual o menor a (-1.04), para estar frente a una situación de escasez hídrica. (c) En las cuencas en que se cuente con embalses de regulación interanual, si el volumen almacenado es inferior al 60% del promedio del mes, las situaciones que revistan el carácter de severa sequía serán calificadas como tal, cuando el indicador de sequía de los últimos 6 meses en la estación que registra caudales entrantes (ICE-6) sea igual o menor a -0.84. (d) En empresas sanitarias, cuando la capacidad de extracción de agua subterránea sea menor al 50% de lo informado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios a la DGA y, en el caso de Servicios Sanitarios Rurales, cuando sea menor al 50% a lo informado por la Dirección de Obras Hidráulicas a la DGA.

Tendencias de variables asociadas a la sequía a escala comunal

El estado de la amenaza de sequía a escala comunal se puede analizar a través de la medición de las tendencias de ciertos indicadores, tales como temperatura, precipitación y estado de la vegetación (Cao, et.al., 2020; Bento, et.al., 2020; Prakash, et.al., 2020).

Temperatura superficial: La tendencia del promedio de temperatura superficial desde 2013 al 2022, generada a partir del uso imágenes Landsat 8, muestra que en los últimos diez años ha aumentado en forma no homogénea en toda la comuna en un rango entre 0,2°C y 1,7°C. Los clústeres con mayor aumento se localizan en el sector sur, sur oriente, poniente y zonas del Cerro San Cristóbal. En este último, las zonas de mayor aumento de temperatura coinciden con las zonas de suelo desnudo producto de los incendios que lo han afectado en forma recurrente.

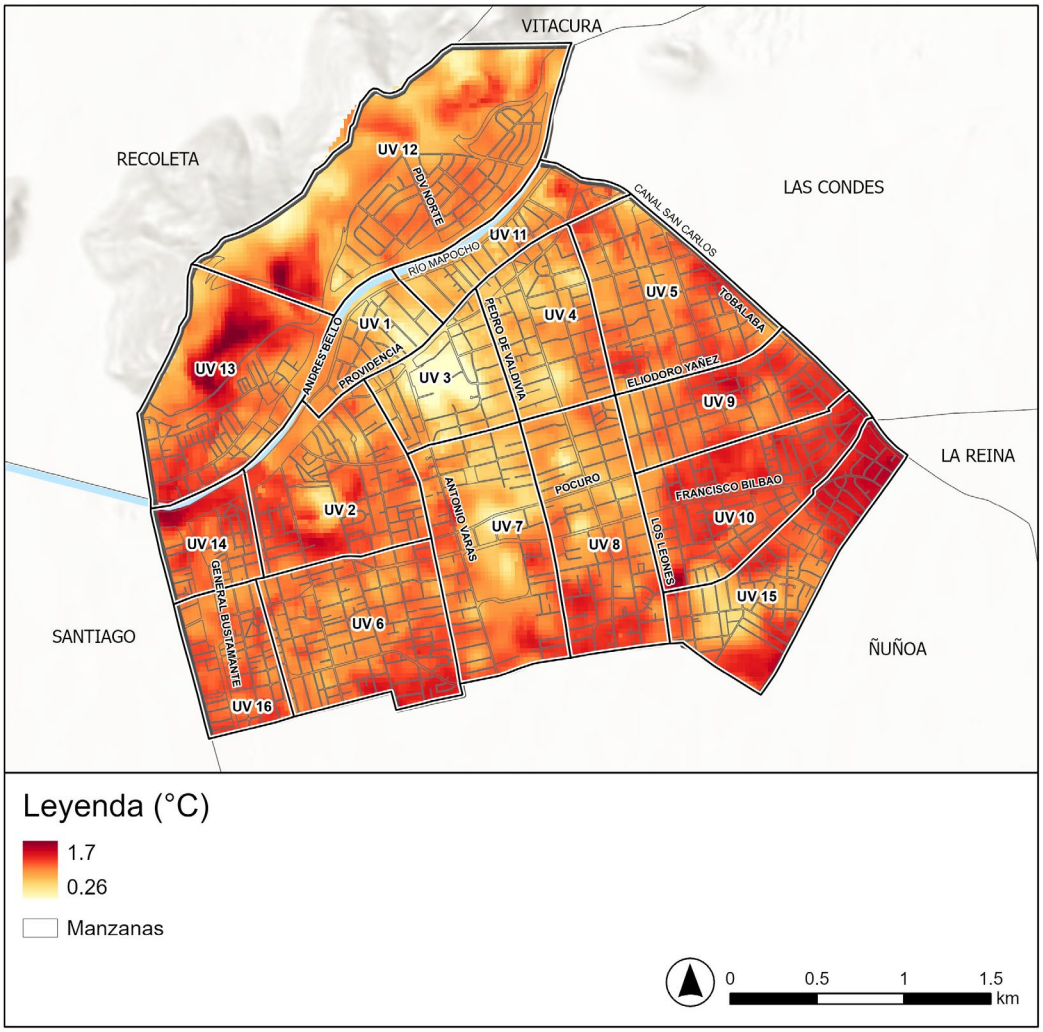


Figura 40. Aumento en °C de la temperatura superficial a nivel comunal entre 2013-2022. Fuente: elaboración propia en base a imágenes satelitales Landsat 8.

Precipitaciones: De forma complementaria a los índices de precipitación evaluados para otras amenazas, se analizó la precipitación promedio entre 1981-2022 utilizando información especializada de CHIRPS (Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Station). Se observa una reducción de 0,3 mm diarios entre 1981-2022, lo que indica una disminución de las precipitaciones a nivel regional. Al analizar la tendencia de la precipitación promedio, esta es negativa para toda la Región Metropolitana. A escala comunal la tendencia en la precipitación promedio muestra una disminución de las precipitaciones diarias anual de 0,028 mm (debido al tamaño de los pixeles, esto es aproximado). Si se consideran los datos de forma acumulativa se observa una sequía prolongada tanto a nivel local como regional.

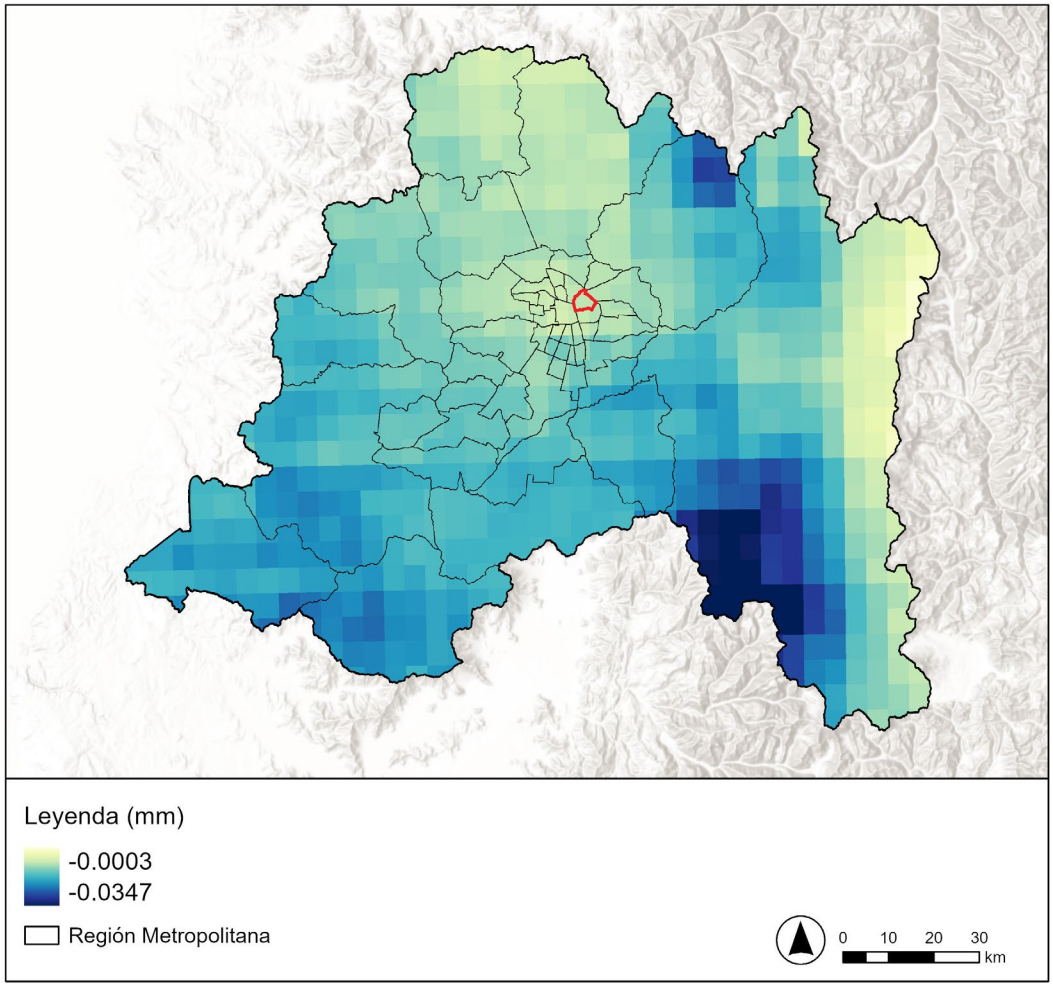


Figura 41. Tendencia de la precipitación promedio diaria anual entre 1981-2022. El mapa muestra la disminución diaria.
Fuente: elaboración propia en base a datos CHIRPS.

Estado de la vegetación: La siguiente variable para describir y analizar la sequía a escala comunal corresponde al cálculo de la tendencia del promedio del índice de vegetación NDVI[9] desde 2000 al 2022, producto generado a partir del uso de imágenes Landsat 7. La distribución de las tendencias muestra un aumento máximo de la salud de la vegetación que llega al 0.01 en el rango de años considerados (23). Por el contrario, y en concordancia con los resultados expuestos en la tendencia de temperatura, la reducción de la salud en base al índice llega a -0.022.

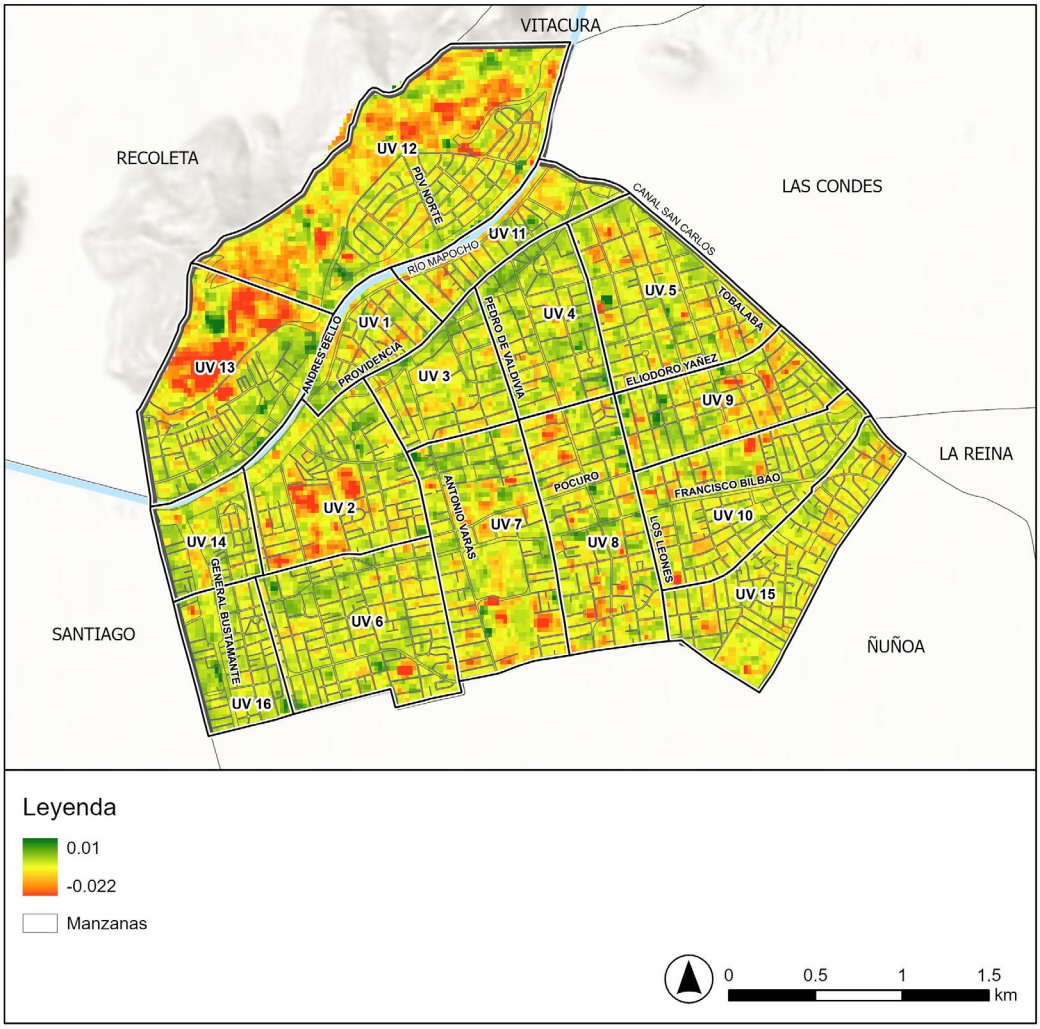


Figura 42. Tendencia del valor de NDVI (salud de vegetación) promedio entre 2000-2022. Considerar que los valores del mapa muestran el valor de aumento o disminución del índice entre las fechas analizadas. Las zonas sin variación se muestran en color amarillo. Fuente: elaboración propia en base imágenes satelitales Landsat 7.

[9] Los valores NDVI dan cuenta del vigor o salud de la vegetación según valores y/o concentraciones de clorofila o verdor.

b. Claves para la gestión de la amenaza de sequía

La sequía es una amenaza que se manifiesta a nivel regional con impactos acumulativos que dependen de las condiciones territoriales. Los impactos de la sequía a nivel regional están concatenados a escala local en la forma de impactos indirectos, pero que requieren atención.

IMPACTO REGIONAL	IMPACTO LOCAL
Déficit hídrico en sistemas de abastecimiento de agua potable.	Reducción del suministro y racionamiento en épocas críticas.
Déficit en el nivel de embalses de plantas hidroeléctricas.	Cortes programados que impactan personas y servicios públicos críticos.
Pérdida de zonas agrícolas productivas por escasez hídrica y desertificación.	Estrés en la cadena productiva de alimentos y posibilidad de escasez.
Menor agua disponible en el suelo para la vegetación urbana.	Aumento en las necesidades de riego para el mantenimiento del paisaje urbano

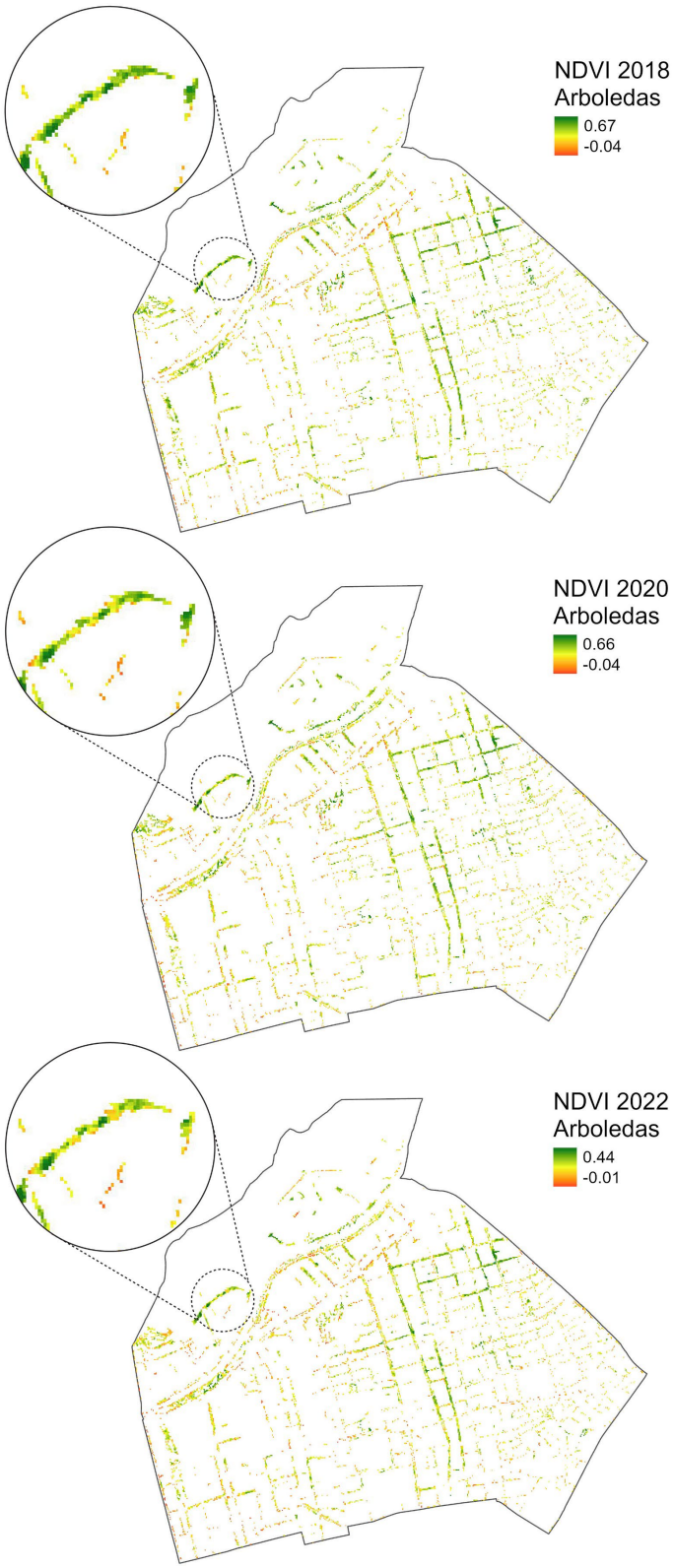
Tabla 12. Impactos potenciales de la sequía a nivel local considerando efectos regionales. Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla, la sequía puede generar impactos a nivel local. La continuidad del suministro eléctrico local, la planificación del sistema alimentario urbano y la gestión del paisaje urbano, se perfilan como nuevos ámbitos de planificación y gestión para los que no existe necesariamente una institucionalidad, políticas o un marco técnico-normativo que los regule. A continuación, se discuten brevemente los tres ejemplos mencionados.

Suministro eléctrico: Dependiendo de la matriz eléctrica, la continuidad del suministro eléctrico puede verse afectado con impactos negativos en la población y servicios públicos críticos. Considerando las interdependencias con otras amenazas, se pueden exacerbar los impactos en el suministro eléctrico por sobrecarga de la red producto de un uso generalizado de sistemas de climatización durante olas de calor.

Sistema alimentario urbano: La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) advierte que presiones como el cambio climático ponen en peligro la capacidad de las sociedades de proveerse alimentos nutritivos, accesibles y producidos de manera sostenible. Se hace necesario entonces una adecuada planificación de las políticas y regulaciones que determinan el funcionamiento de los sistemas alimentarios, con el objetivo de orientar su desarrollo bajo principios de sostenibilidad económica, reducción de impactos ambientales y alcance social derivados de los beneficios de una alimentación sana y nutritiva (FAO, 2018). En 2015, se firmó el *Milan Urban Food Policy Pact* en el que múltiples ciudades se comprometieron a desarrollar políticas alimentarias donde se establecen recomendaciones en múltiples ámbitos (Santiago no fue uno de los firmantes). Así, distintas ciudades[10] a nivel global han comenzado a planificar la cadena de valor alimentaria (Coehn, 2017), la que considera procesos de: producción, procesamiento, almacenamiento, transporte, comercialización, transformación, consumo y disposición de residuos.[11]

[10] Destacan los casos de Chicago, Toronto, Nueva York y Rosario.
[11] Para una síntesis de las amenazas del Sistema Alimentario de Santiago y recomendaciones para su gestión, visitar: http://sistemaalimentario.cl/



Riego del paisaje urbano: La salud de la vegetación urbana depende de múltiples factores como el manejo que se haga del paisaje urbano. No obstante, los análisis muestran una disminución de la salud de la vegetación. Así, se puede argumentar que el agua disponible en suelo (que disminuye con la tendencia negativa de precipitación) más la dotación de riego son insuficientes para la demanda creciente de agua de la vegetación producto también de una mayor evapotranspiración (producto de temperaturas en aumento). De esto se desprende que la condición de sequía sí tiene un impacto en la vegetación independientemente del manejo del paisaje.

Para ejemplificar esto, se caracterizó la salud de las arboledas de Providencia, analizando sus valores de NDVI[12] para el mes de febrero[13] en los años 2018, 2020 y 2022. La pérdida de salud del arbolado urbano se puede constatar al examinar los valores máximos de NDVI en el rango de años analizados, observándose una disminución de 0,67 en 2018 a 0,44 en 2022. De forma ilustrativa, se incluye un área ampliada en la que se aprecia visualmente la variación de color que corresponde con la disminución del NDVI. La zona ampliada está localizada a los pies del Cerro San Cristóbal.

Figura 43. NDVI febrero 2018, 2020, 2022 para arboledas de Providencia. Fuente: elaboración propia en base a imágenes Sentinel 2.

[12] Se utilizaron imágenes satelitales Sentinel 2, las que tienen una resolución de 10 metros y permiten obtener un mejor detalle de las arboledas urbanas.
[13] Se utilizó febrero, ya que es el mes más seco de acuerdo a los registros de precipitación en la estación meteorológica de quinta normal.

5. Índice general de amenaza

El índice general de amenaza corresponde al primer componente para medir el riesgo climático según la fórmula general de riesgo que guía el proceso analítico del estudio:

$$Rg = \{(Ai) \times (Ei) \times (Vi)\}$$

Donde:

- Rg: Riesgo climático
- Ai: Índice general de amenaza
- Ei: Índice general de exposición
- Vi: Índice general de vulnerabilidad

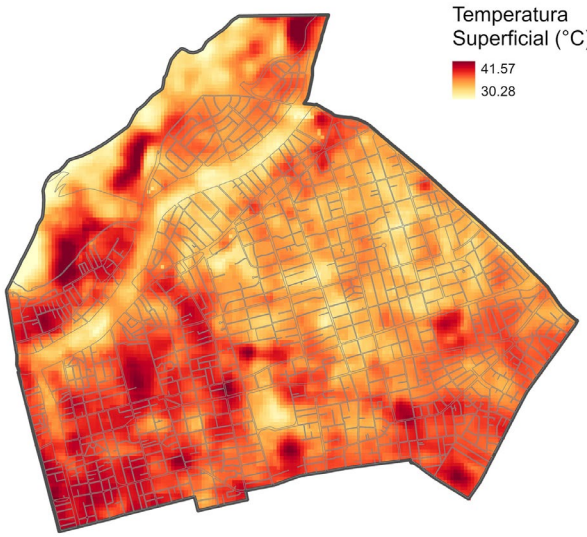
a. Construcción de índices normalizados por amenaza

El índice fue generado a partir de un cruce espacial de índices normalizados construidos para cada una de las cuatro amenazas caracterizadas. La normalización se realizó para cada valor a nivel espacial (celda o pixel) en base a la fórmula simplificada de normalización.

Los índices corresponden a capas de información geográfica en formato *raster* (información continua en donde cada pixel indica un valor) de 10 metros de resolución y se construyeron como se indica en la tabla a continuación.

Amenaza	Datos para la construcción del índice	Normalización
Inundación	Respecto de las clases de zonas potencialmente saturables.	Valores: 0 a 1
Ola de calor	A partir de la clasificación del análisis de temperatura superficial para la ola de calor más intensa (enero de 2019).	Valores: 0 a 1
Sistema frontal	Considerando la carencia de datos para caracterizar el comportamiento de la amenaza a escala comunal, se asume una condición de "expuesta" en su totalidad con el valor máximo de la normalización.	Valor: 1
Sequía	Considerando que la sequía es un fenómeno de escala regional y acumulativo, la comuna asume una condición de "expuesta" en su totalidad con el valor máximo de la normalización.	Valor: 1

Tabla 13. Tratamiento de la normalización según los datos disponibles. Fuente: elaboración propia.



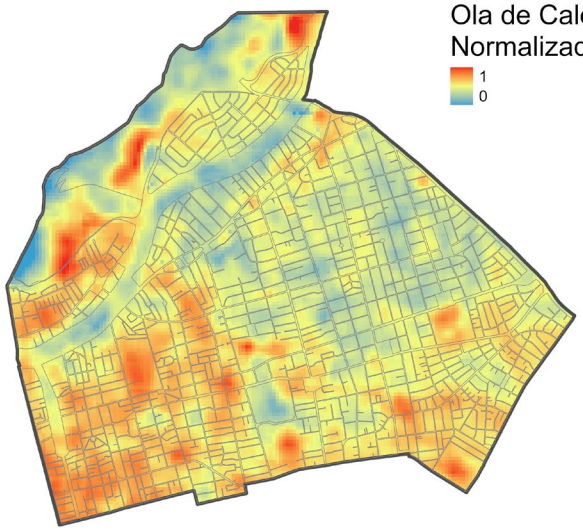
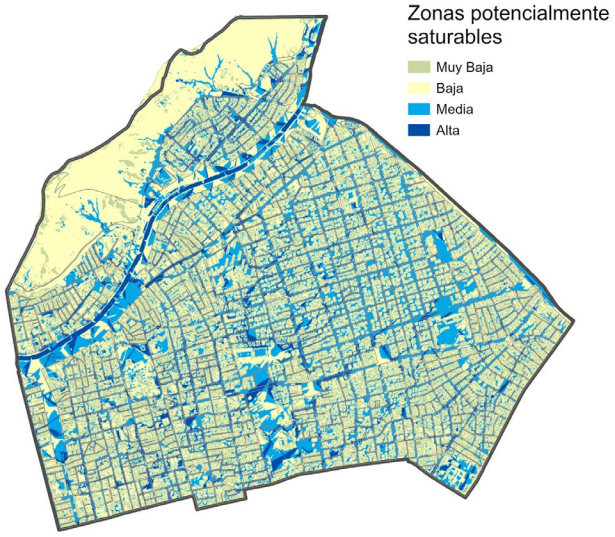


Figura 44. Proceso de normalización para la amenaza de ola de calor. Arriba: análisis de temperatura superficial para ola de calor más intensa. Abajo: normalización de los datos de temperatura superficial entre 0 y 1.



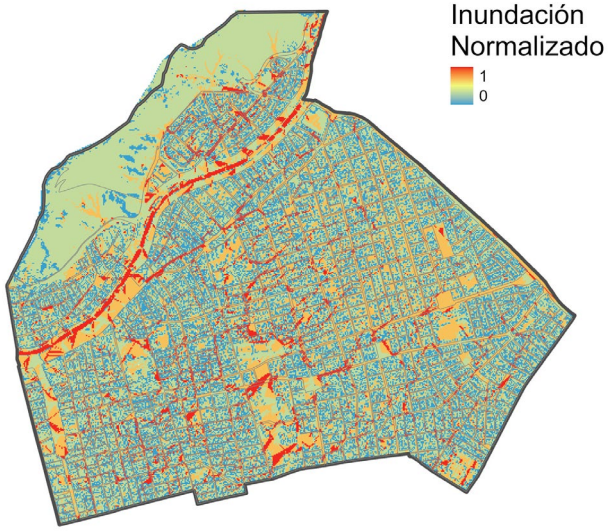


Figura 45. Proceso de normalización para la amenaza de inundación. Arriba: zonas potencialmente saturables por clases de peligro. Abajo: normalización de los datos de zonas potencialmente saturables entre 0 y 1.

b. Resultados del índice general de amenaza

El índice general de amenaza es una capa geográfica de tipo *raster* que, al igual que los índices individuales de cada amenaza, posee una resolución de 10 metros y con valores que van de 0 a 1, en donde 0 indica inexistencia de amenaza y 1 indica el nivel máximo de amenaza. El índice general de amenaza corresponde al primer componente necesario para calcular el riesgo climático para la comuna de Providencia.

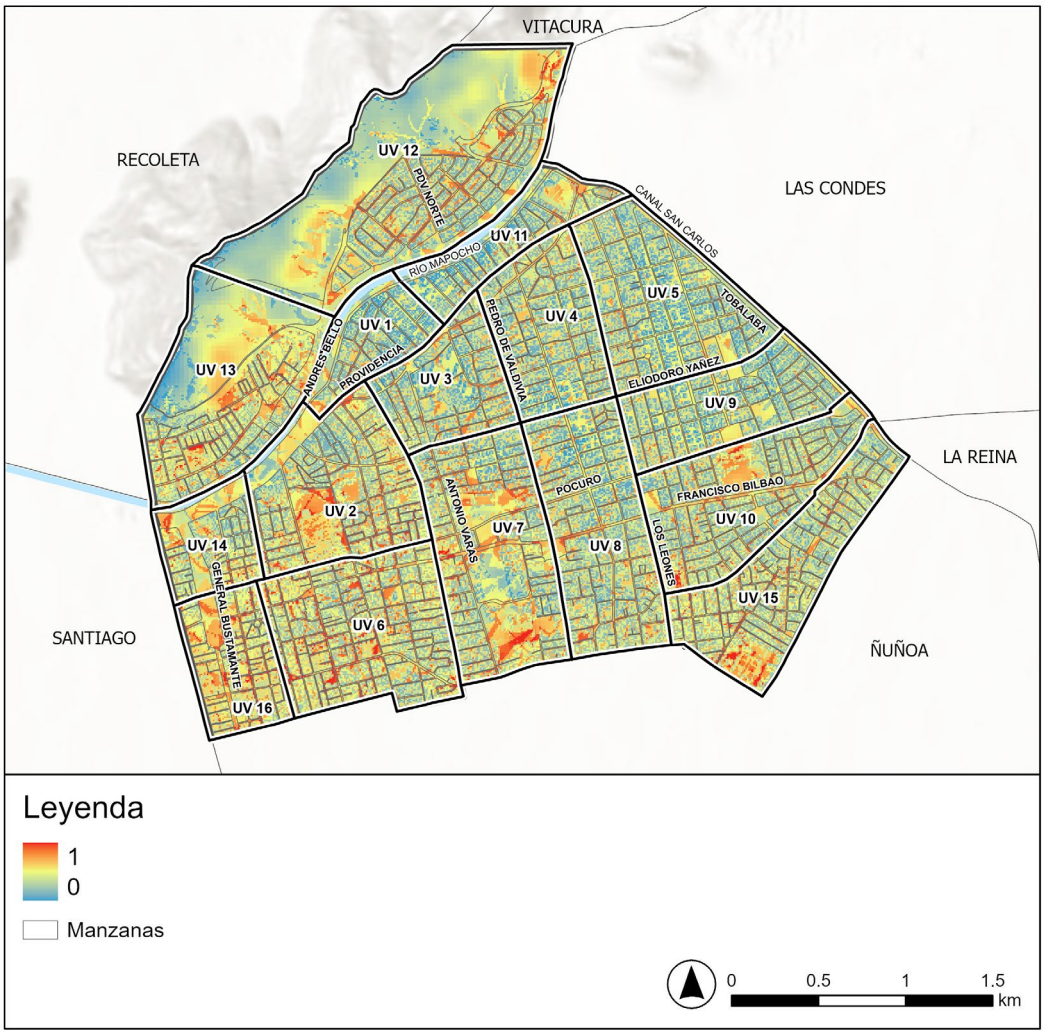
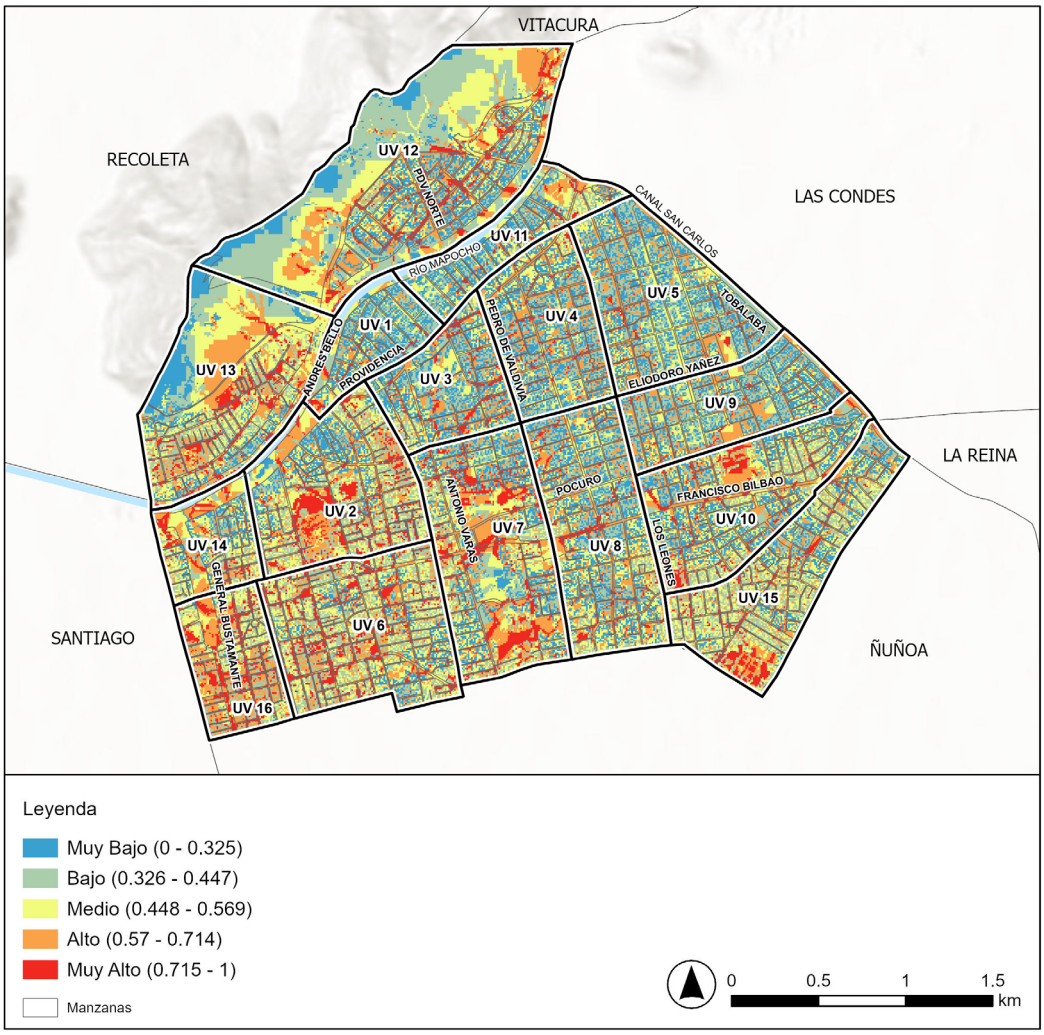


Figura 46. Índice general de amenaza (normalizado). Fuente: elaboración propia.

Otra forma de ver el índice es agrupando los valores de la normalización en clases o niveles, lo que permite entender el área bajo determinado nivel de amenaza y, con ello, entender los patrones espaciales de las amenazas climáticas en la comuna. Providencia tiene 1434 ha de superficie, de los cuales el 24.72%, equivalentes a 354 ha, corresponde a área bajo amenaza “media”. El nivel “alto” se presenta en el 23,55% del territorio comunal (338 ha). El área en el nivel “bajo” se presenta en el 23,07% de la comuna (331 ha), seguido de “muy bajo” con el 18,03% (259 ha). Finalmente, el nivel de amenaza “muy alto” se presenta en el 10,27% de la comuna, equivalente a 147 ha.



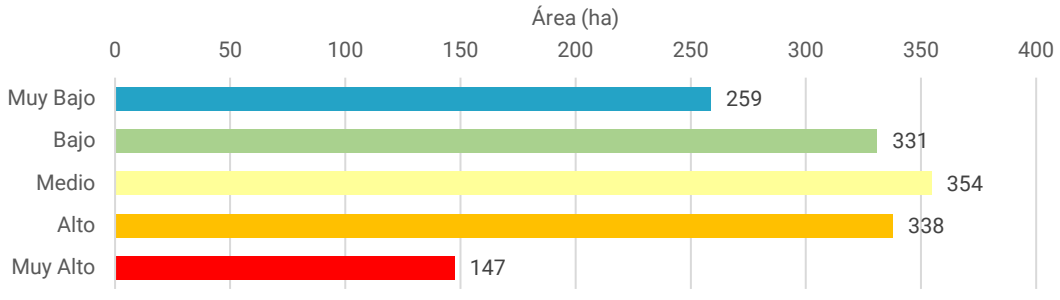


Figura 47. Índice de amenaza en clases y gráfico de superficie comunal bajo cada clase de amenaza. Notar que hay 5 ha (0,3%) no contabilizadas producto de la resolución del análisis (pixeles en los bordes). Fuente: elaboración propia.

Al utilizar las unidades vecinales como unidad espacial para el mismo análisis, se observa que las UV más afectadas por el nivel “muy alto” de amenaza se localizan en el sector surponiente (UV16, 2, 6, 7 y 14). El nivel de amenaza “alto” se distribuye de forma homogénea entre las UV, con rangos que van entre el 15%-31% del área de cada UV.

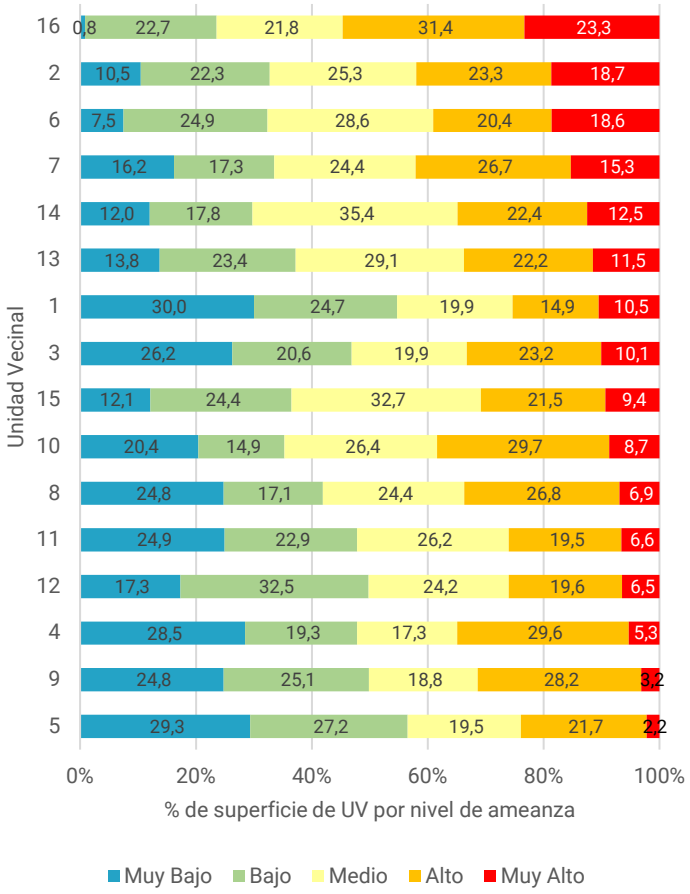


Figura 48. Porcentaje de la superficie de unidades vecinales afectadas por clases de amenaza. Fuente: elaboración propia.

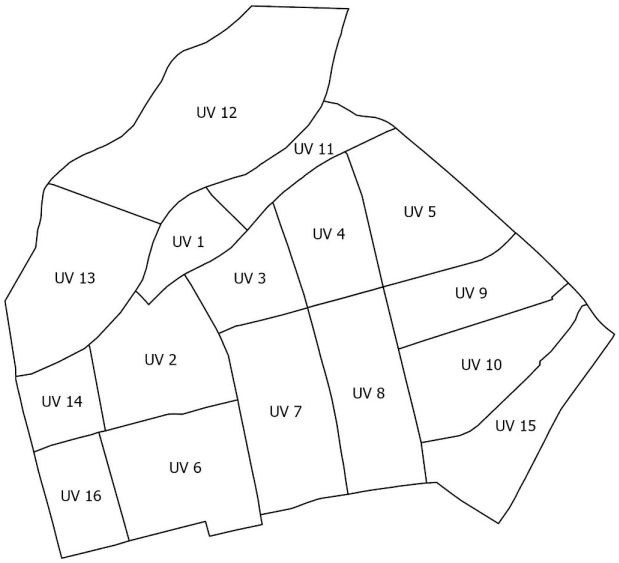


Figura 49. Mapa de referencia con unidades vecinales (UV). Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia.

II. EXPOSICIÓN DE LOS SISTEMA CRÍTICOS

1. Caracterización de los elementos expuestos

La exposición comprende aquellos elementos presentes en el territorio que, dada su localización, son potencialmente susceptibles de ser afectados por ocurrencia de eventos asociados a las amenazas climáticas. Un elemento se considerará expuesto cuando se localice en una zona donde exista amenaza. Recordando la conceptualización de la exposición en la E2, cada elemento expuesto es representado por una variable geográfica o componente, la cual posee una dimensión y se asocia a un sistema crítico, como se observa en la tabla a continuación.

Sistema crítico	Dimensión	Componentes
Exposición de las personas: consiste en las personas que viven en la comuna.	**Habitantes**	Habitantes
Exposición de las edificaciones: consiste en la individualización del uso residencial en las edificaciones, a partir de las viviendas existentes en la comuna.	**Viviendas**	Viviendas
Exposición de la infraestructura y equipamiento público: consiste en el número total y distribución de diversas infraestructuras y equipamientos comunales.	**Áreas verdes y recreación**	Plazas
		Parques
		Zonas de juegos infantiles
	Infraestructura vial	Ciclovías
		Calles
		Paraderos
	Infraestructura	Luminarias
		Arboledas
		Fuentes de agua
	Equipamiento comunal	Establecimientos educacionales
		Jardines y salas cuna
		Equipamiento deportivo
		Edificios policiales
		Cuarteles de bomberos
		Establecimientos de salud

Tabla 14. Dimensiones y componentes en el contexto de la exposición. Fuente: elaboración propia.

La caracterización de los elementos expuestos para cada sistema crítico consta de dos partes:

- Un catastro geográfico (mapeo) de los componentes de cada sistema crítico, considerando su localización, dimensión y/o extensión.

- Una evaluación de la localización de los componentes respecto del índice general de amenaza. Esto permite cuantificar cuantos componentes están expuestos a un determinado nivel de amenaza, es decir, los elementos expuestos. Se provee una síntesis estadística por componente y/o dimensión. La mayoría de las estadísticas se presentan como porcentaje para facilitar su comprensión (p. ej: % del número total de viviendas).

Cabe recordar que no existen zonas libres de amenaza (ver mapa del índice general de amenaza) por lo que todos los componentes catastrados están expuestos en menor o mayor grado.

a. Caracterización del sistema crítico “personas”

Dimensión: Habitantes

El catastro del sistema crítico personas considera un componente. Como variable geográfica se utilizó el número de habitantes por manzana según información censal (2017) y la base de datos WorldPop (2019). Se constata que el 36% de la población se localiza en áreas con niveles de amenaza “muy alto” y “alto”. Por otro lado, el 40,7% de la población se ubica en los dos últimos tramos de amenaza (bajo y muy bajo), a la vez que un 23,3% se ubica en el tramo medio.

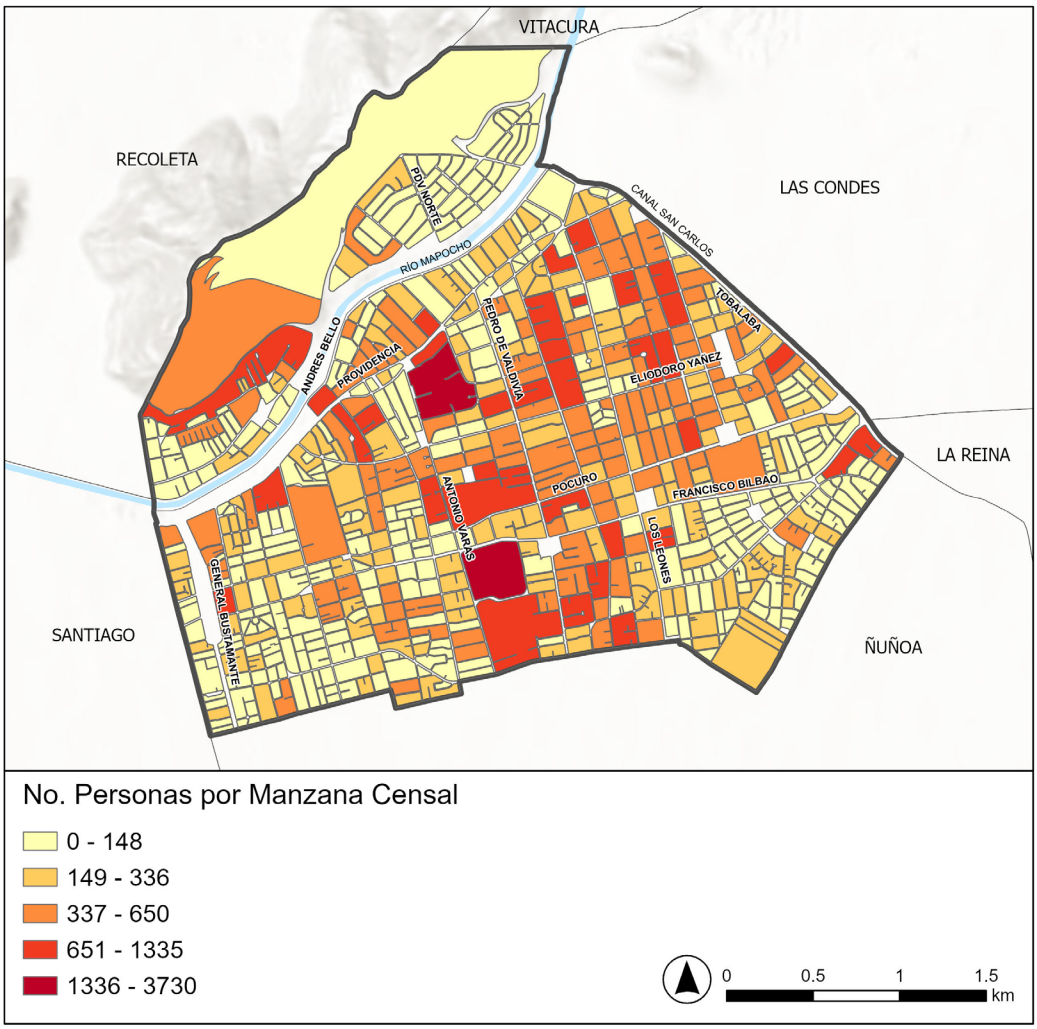


Figura 50. Habitantes por manzana. Fuente: elaboración propia en base a Censo 2017.

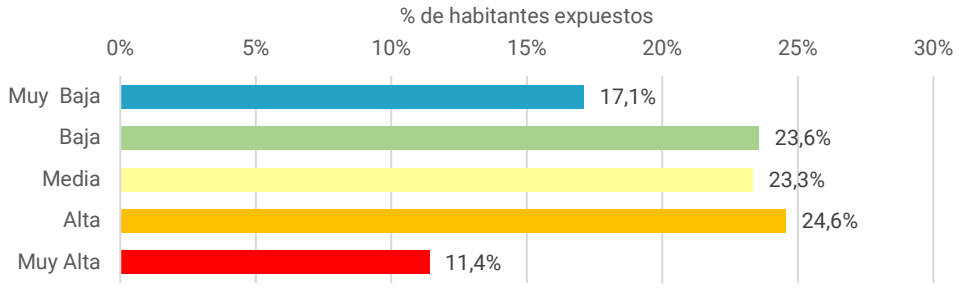


Figura 51. Porcentaje de habitantes expuestos a distintos niveles de amenaza. Fuente: elaboración propia.

b. Caracterización del sistema crítico “edificaciones”

Dimensión: Viviendas

El catastro del sistema crítico edificaciones considera una dimensión y un componente. Como variable geográfica se consideró el número total de viviendas por manzanas de acuerdo al Censo 2017. En cuanto a los elementos expuestos, 6,9% de las viviendas de la comuna se localizan en zonas de amenaza “muy alta”, seguido de un 20,1% en amenaza “alta”. Para el resto de las clases de amenaza, los porcentajes de viviendas expuestas son similares (20-23% por clase).

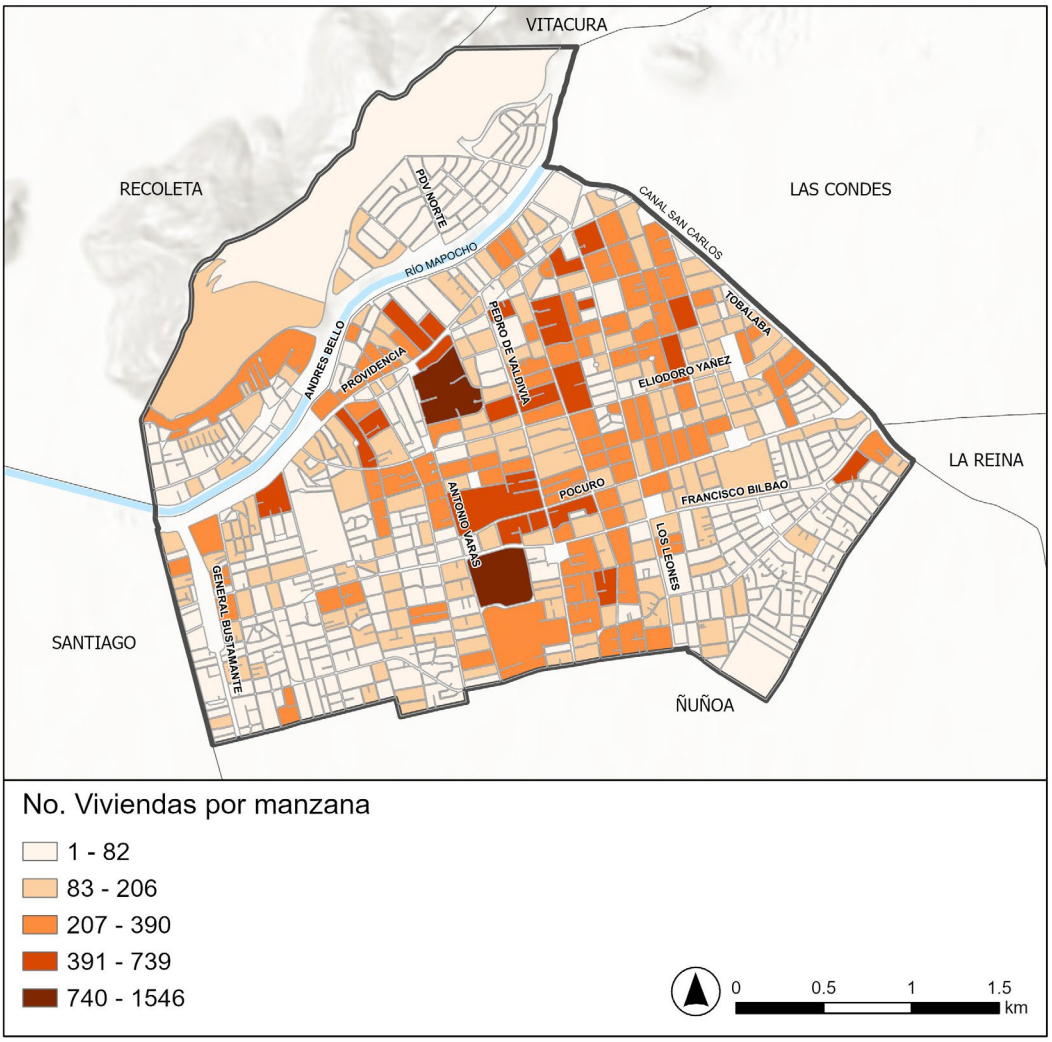


Figura 52. Viviendas por manzana. Fuente: elaboración propia en base a Censo 2017.

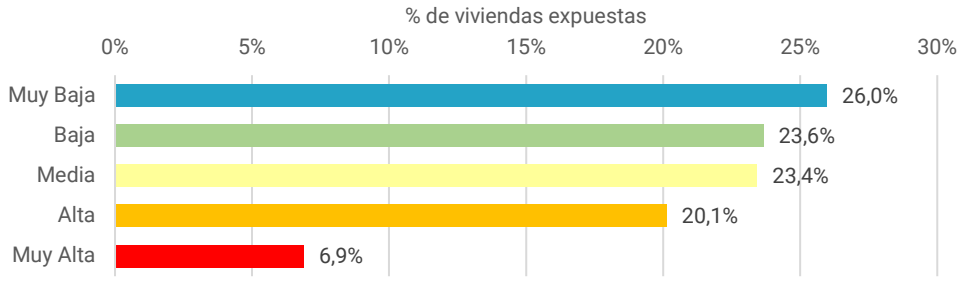


Figura 53. Porcentaje de viviendas expuestas a distintos niveles de amenaza. Fuente: elaboración propia.

c. Caracterización del sistema crítico “infraestructura y equipamiento”

Dimensión: Áreas verdes y recreación

Esta dimensión considera tres componentes: parques, plazas y zonas de juegos infantiles. El catastro geográfico considera variables de localización, forma y tamaño de plazas y parques y la localización de juegos infantiles en la comuna.

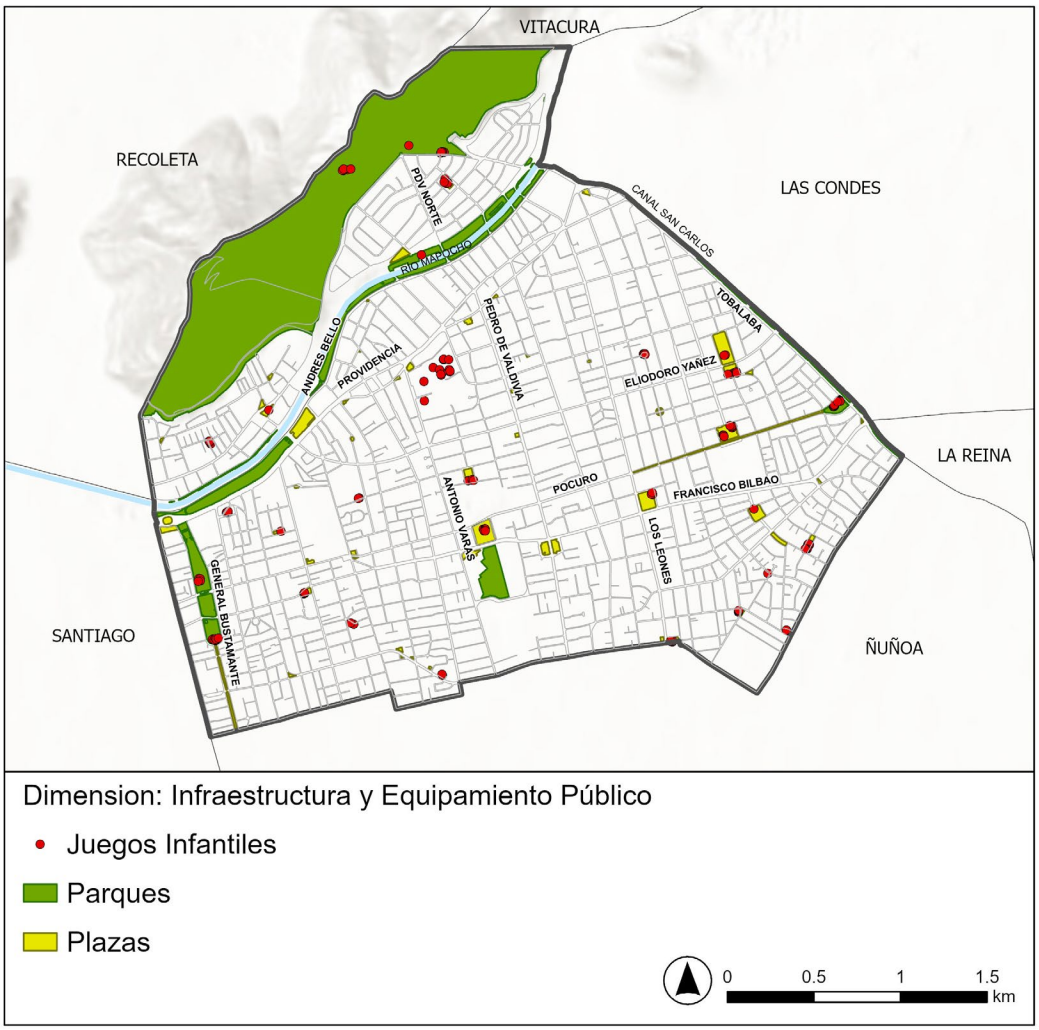


Figura 54. Plazas, parques y zonas de juegos infantiles Fuente: elaboración propia en base a ECV e información de la Municipalidad de Providencia.

Al evaluar los elementos expuestos de esta dimensión[14], destacan las plazas con 20,8% del área en zonas de amenaza “muy alta” y los juegos infantiles con 24,8% de estos en el mismo nivel. En el nivel “alto”, destacan también las plazas y juegos infantiles con 43,6% y 38,6% respectivamente. Los parques poseen un bajo porcentaje del área total localizados en zonas de amenaza “muy alta” (3%), subiendo a 16% en nivel “alto”.

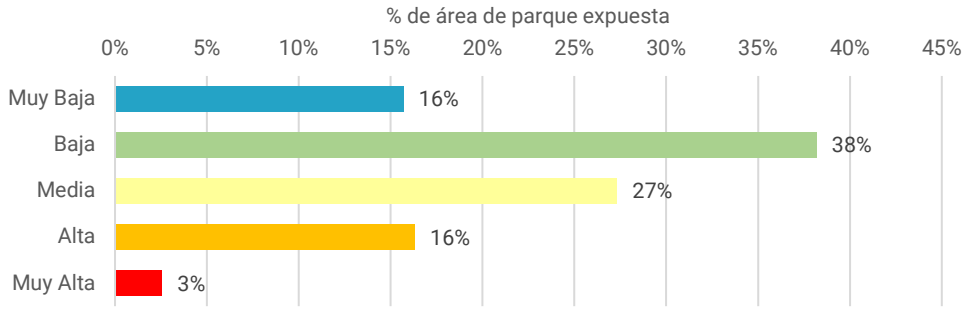


Figura 55. Porcentaje de área de parque expuesta a distintos niveles de amenaza. Fuente: Elaboración propia.

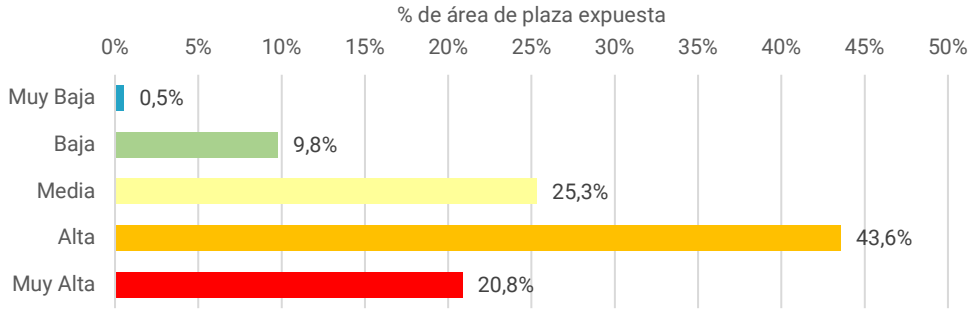


Figura 56. Porcentaje de área de plaza expuesta a distintos niveles de amenaza. Fuente: Elaboración propia.

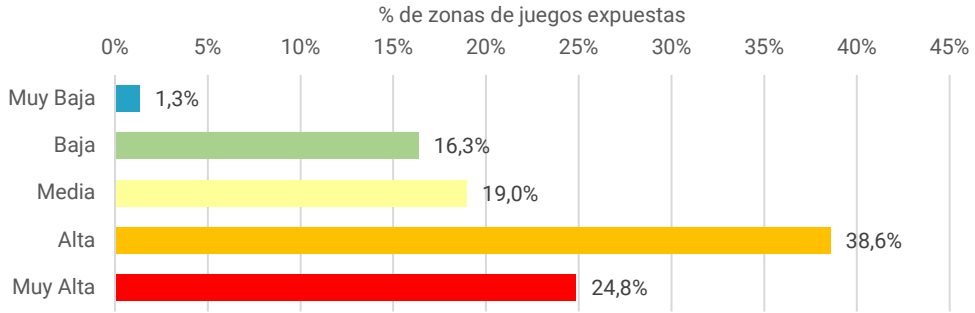


Figura 57. Porcentaje de zonas de juegos infantiles expuesta a distintos niveles de amenaza. Fuente: Elaboración propia.

[14] Los porcentajes indicados corresponden a al proporción de cada componente por separado.

Dimensión: Infraestructura vial

Esta dimensión considera tres componentes: red de ciclovías, red vial (calles) y paraderos. El catastro geográfico considera variables de trazado y longitud de calles y ciclovías, mientras que para los paraderos se registra su localización en el territorio comunal. Para facilitar la lectura a nivel geográfico, se generó un mapa por componente.

Figura 58. Trazado de ciclovías. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia.

Figura 59. Trazado de calles según tipología. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia.

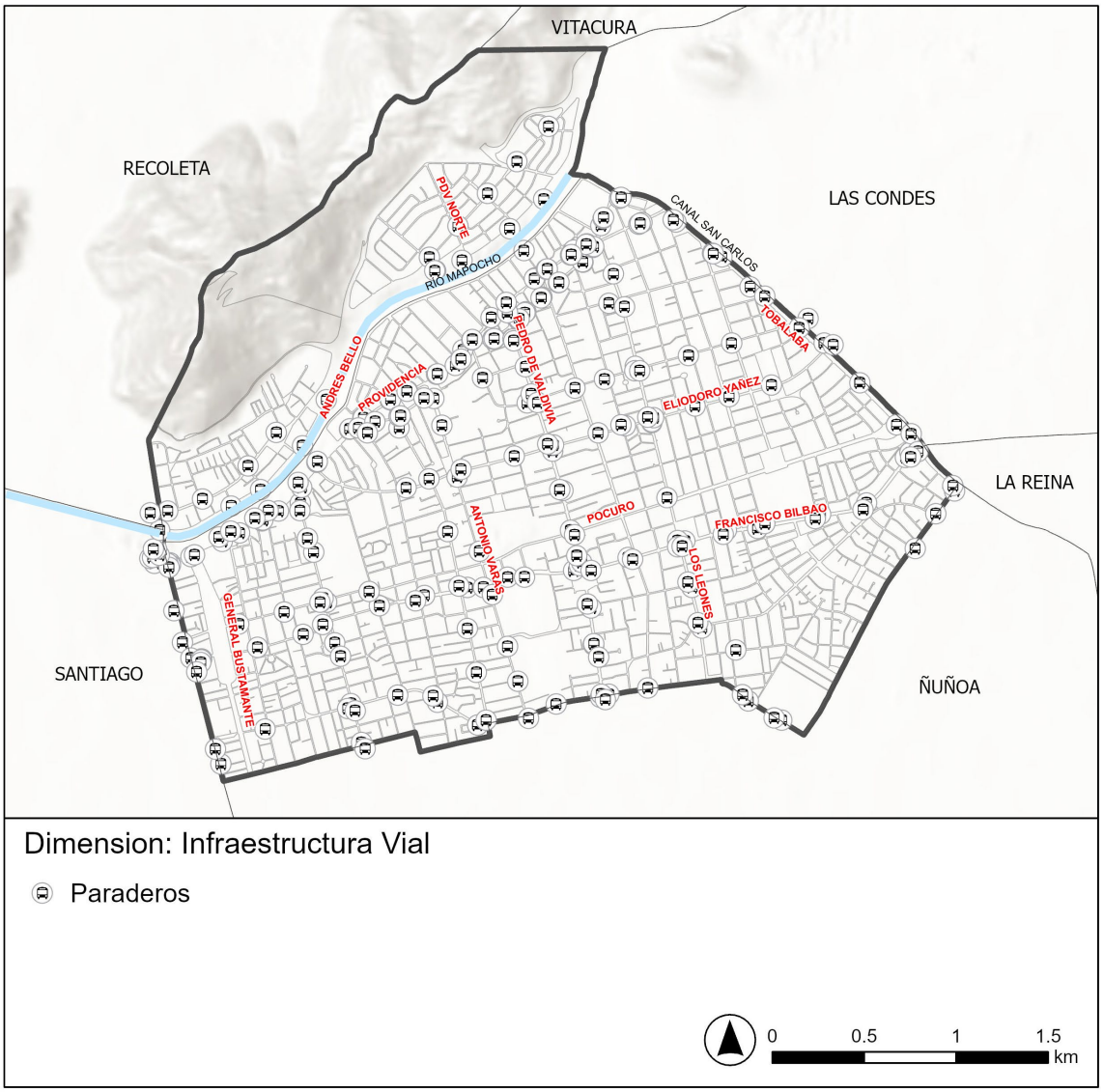


Figura 60. Ubicación de paraderos. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia.

La evaluación de los elementos expuestos permite constatar que los tres componentes presentan porcentajes similares de exposición en el nivel de amenaza “muy alto” (17 a 21%). No obstante, los porcentajes son sustancialmente mayores (aproximadamente el doble) en el nivel “alto”, con valores entre 34 y 41%. Se observa que la distribución de los porcentajes por cada clase de amenaza es relativamente similar entre los componentes.

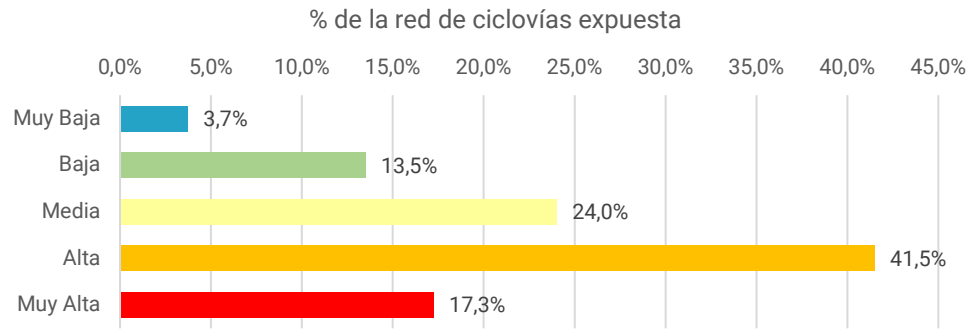


Figura 61. Porcentaje de la red (longitud) de ciclovías expuesta a distintos niveles de amenaza. Fuente: Elaboración propia.

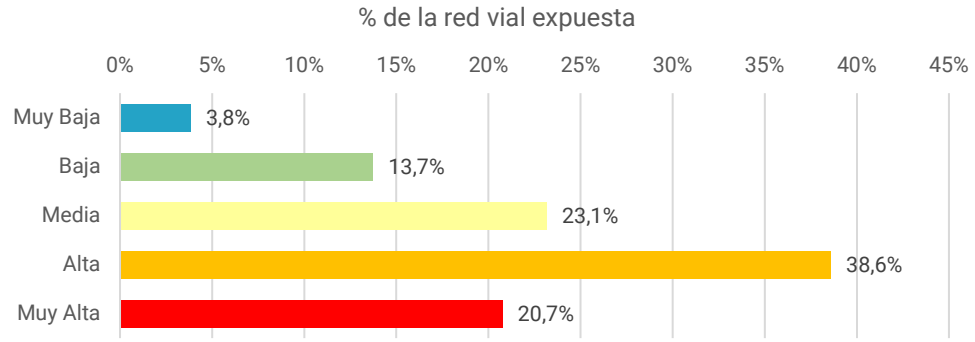


Figura 62. Porcentaje de la red (longitud) vial expuesta a distintos niveles de amenaza. Fuente: Elaboración propia.

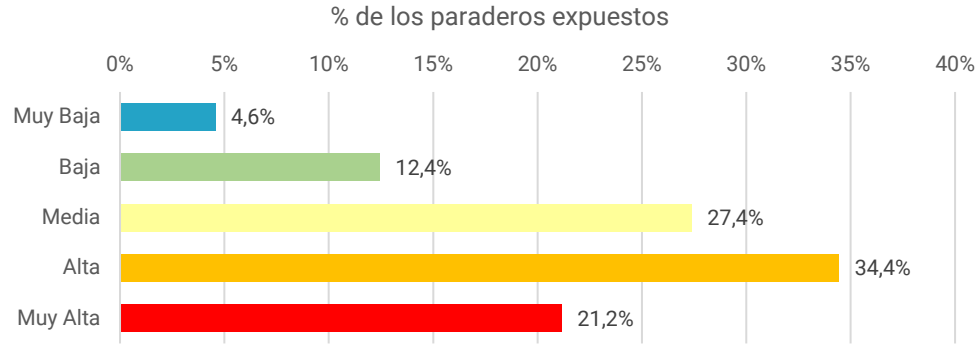


Figura 63. Porcentaje de los paraderos expuestos a distintos niveles de amenaza. Fuente: Elaboración propia.

Dimensión: Infraestructura

Esta dimensión considera tres componentes, los que se podrían dividir entre infraestructura gris y verde: arboledas, fuentes de agua y luminarias. El catastro geográfico considera variables de cobertura arbórea (área de copa) y localización y cantidad de fuentes de agua y luminarias. Para facilitar la lectura a nivel geográfico, se generó un mapa por componente.

Figura 64. Cobertura arbórea de las arboledas de la comuna. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia.

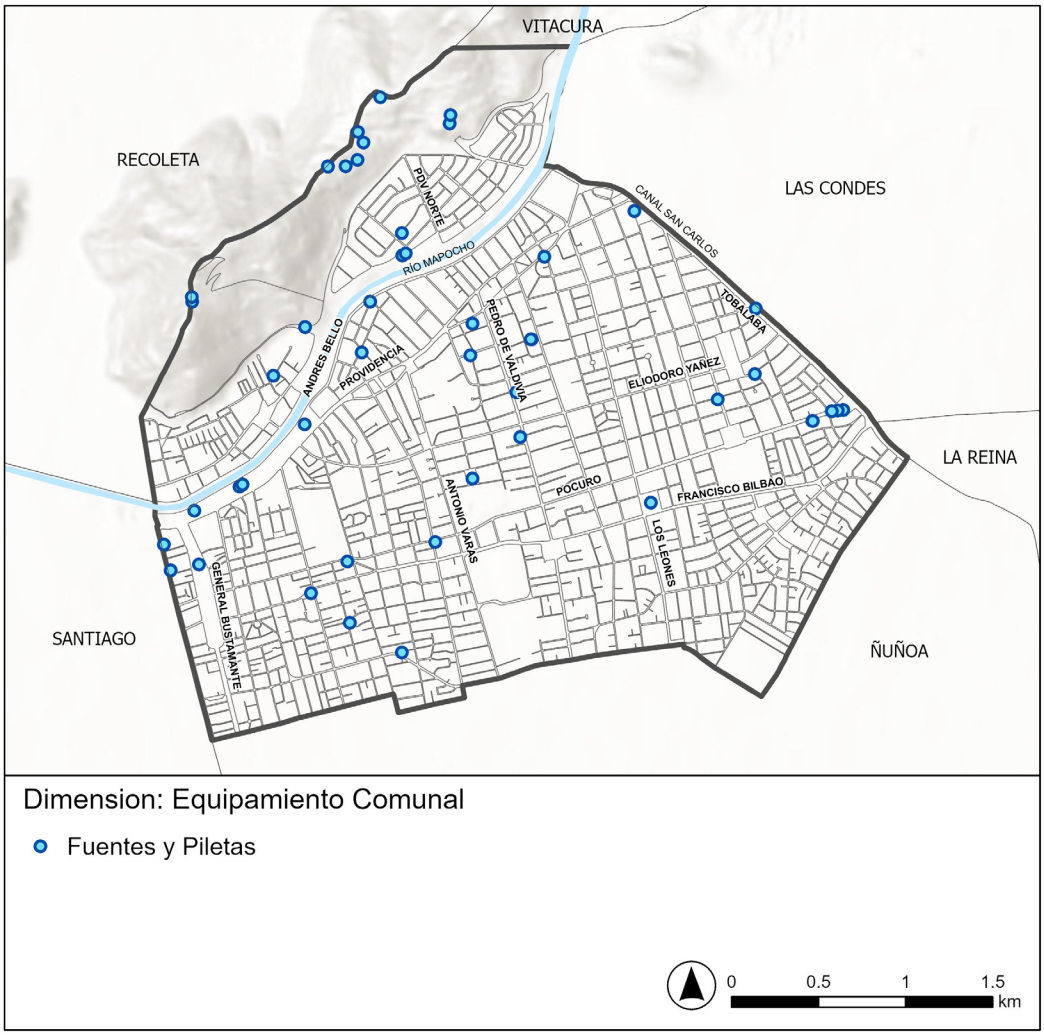


Figura 65. Localización de fuentes y piletas. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia.

Figura 66. Luminarias urbanas. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia.

En cuanto a la exposición de esta dimensión, los tres componentes presentan valores similares en el nivel de amenaza “muy alto” (14 a 17%) y “alto” (34 a 35%). Al considerar ambas clases en conjunto (“muy alto” y “alto”), los componentes presentan cerca del 50% de sus elementos localizados en los tramos superiores de amenaza. Destaca el componente fuentes y piletas el que no posee elementos en la clase “muy baja” y presenta, además, el mayor porcentaje de elementos expuestos en el nivel de amenaza “bajo” al compararlo con el resto.

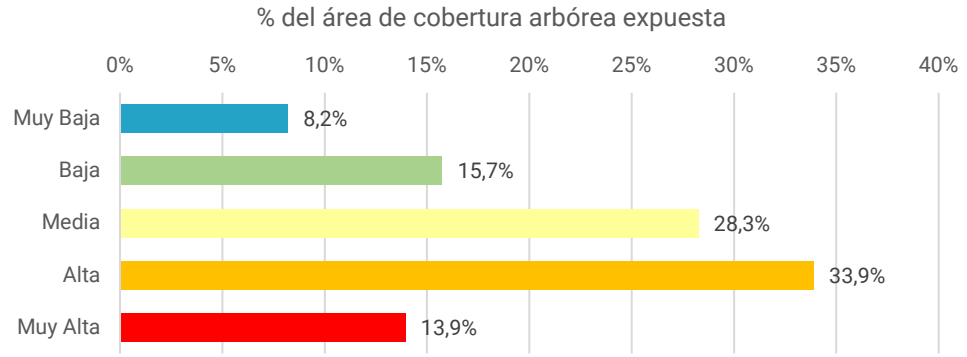


Figura 67. Porcentaje del área de cobertura arbórea expuesta a distintos niveles de amenaza. Fuente: Elaboración propia.

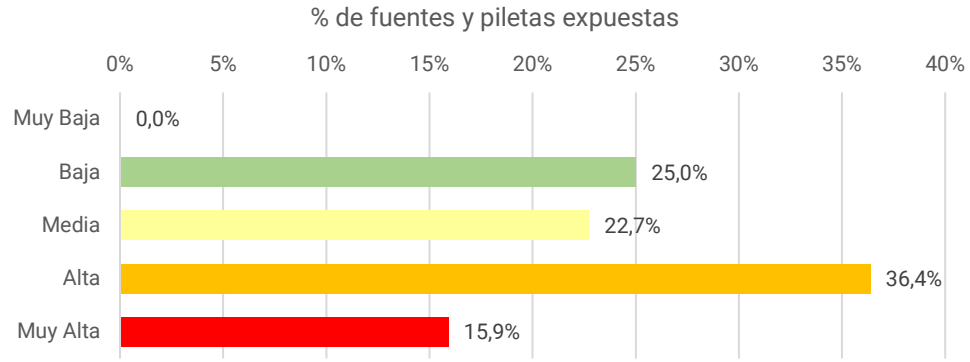


Figura 68. Porcentaje de fuentes y piletas expuestas a distintos niveles de amenaza. Fuente: Elaboración propia.

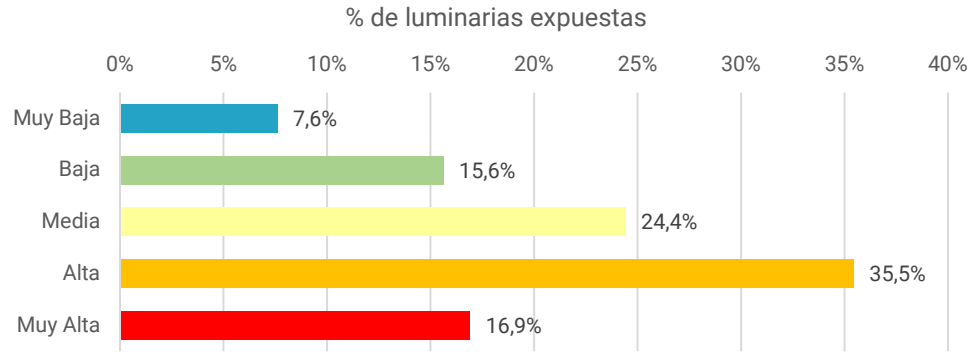


Figura 69. Porcentaje de luminarias expuestas a distintos niveles de amenaza. Fuente: Elaboración propia.

Dimensión: Equipamiento comunal

Esta dimensión considera cinco componentes: establecimientos educacionales (colegios, escuelas, liceos), jardines y salas cuna (párvulos), equipamiento deportivo (centros deportivos), edificios policiales (comisarías y subcomisarías de Carabineros), cuarteles de bomberos (compañías de Bomberos) y establecimientos de salud (todos los tipos, públicos y privados). El catastro geográfico considera variables de localización y cantidad para todos los componentes.

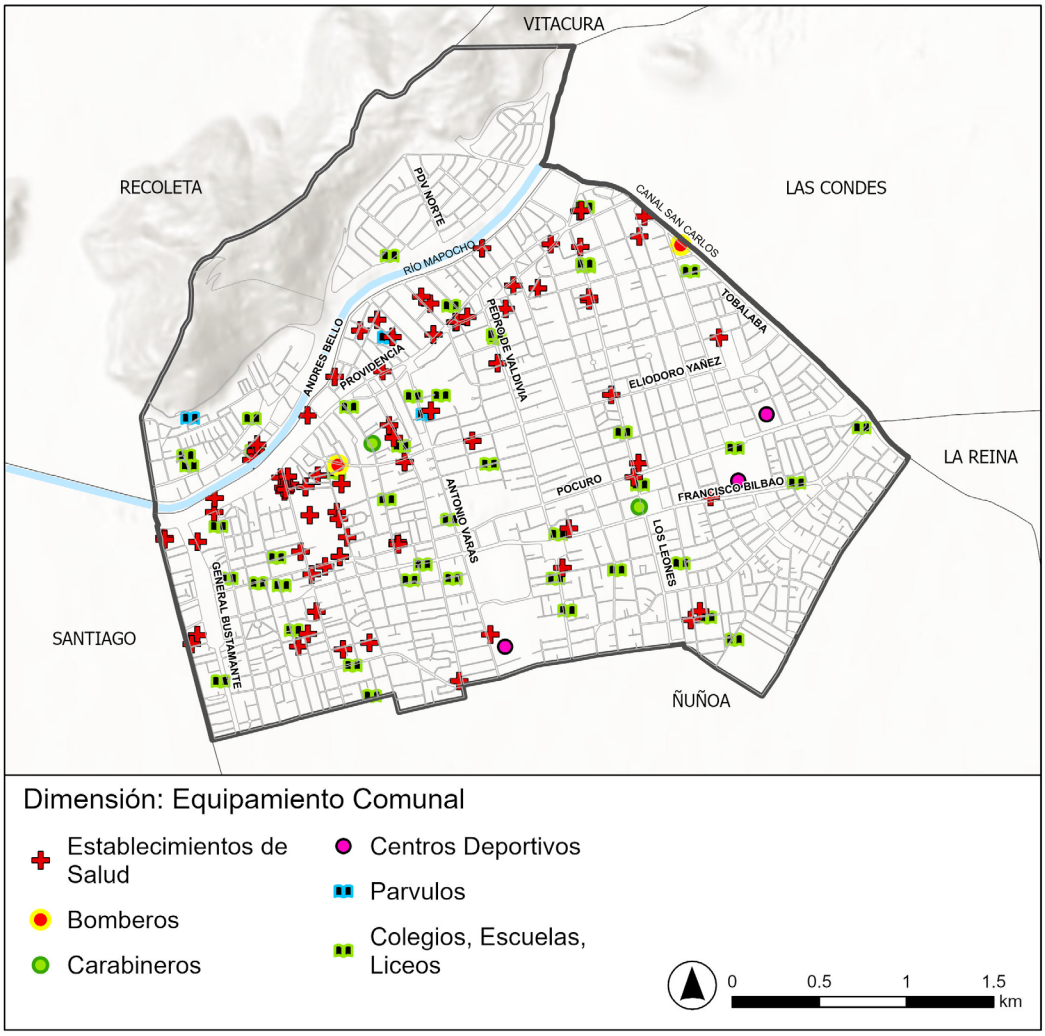


Figura 70. Localización del equipamiento comunal. Fuente: elaboración propia en base a datos de la M. de Providencia.

Para esta dimensión, se agruparon los componentes para evaluar la exposición. Cerca del 30% de los componentes se localizan en zonas de amenaza “alta” o “muy alta”, mientras que un porcentaje similar se localiza en zonas de amenaza “media” (27,6%). En consecuencia, los tramos inferiores de amenaza concentran el 43,3% de los componentes.

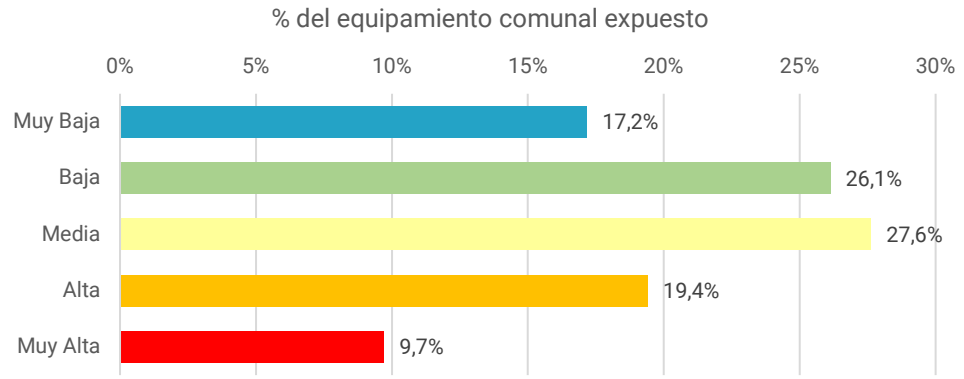


Figura 71. Porcentaje de equipamientos expuestos a distintos niveles de amenaza. Fuente: Elaboración propia.

2. Índice general de exposición

El índice general de exposición corresponde al segundo componente para medir el riesgo climático según la fórmula general de riesgo que guía el proceso analítico del estudio:

$$Rg = \{(Ai) \times (Ei) \times (Vi)\}$$

Donde:

- Rg: Riesgo climático
- Ai: Índice general de amenaza
- Ei: Índice general de exposición
- Vi: Índice general de vulnerabilidad

a. Construcción del índice general de exposición

El índice general de exposición fue generado a partir de un cruce espacial de los índices normalizados para cada sistema crítico, como se observa en la figura en la página siguiente. El índice general de exposición agrupa todos los elementos expuestos identificados en el punto anterior. En términos prácticos, representa la concentración de elementos (componentes) expuestos en el territorio comunal.

Al igual que todos los índices, éste toma la forma de una capa geográfica tipo *raster* de resolución 10 metros y con valores normalizados entre 0 y 1. Para una explicación del proceso de normalización de este índice, referirse a la E2.

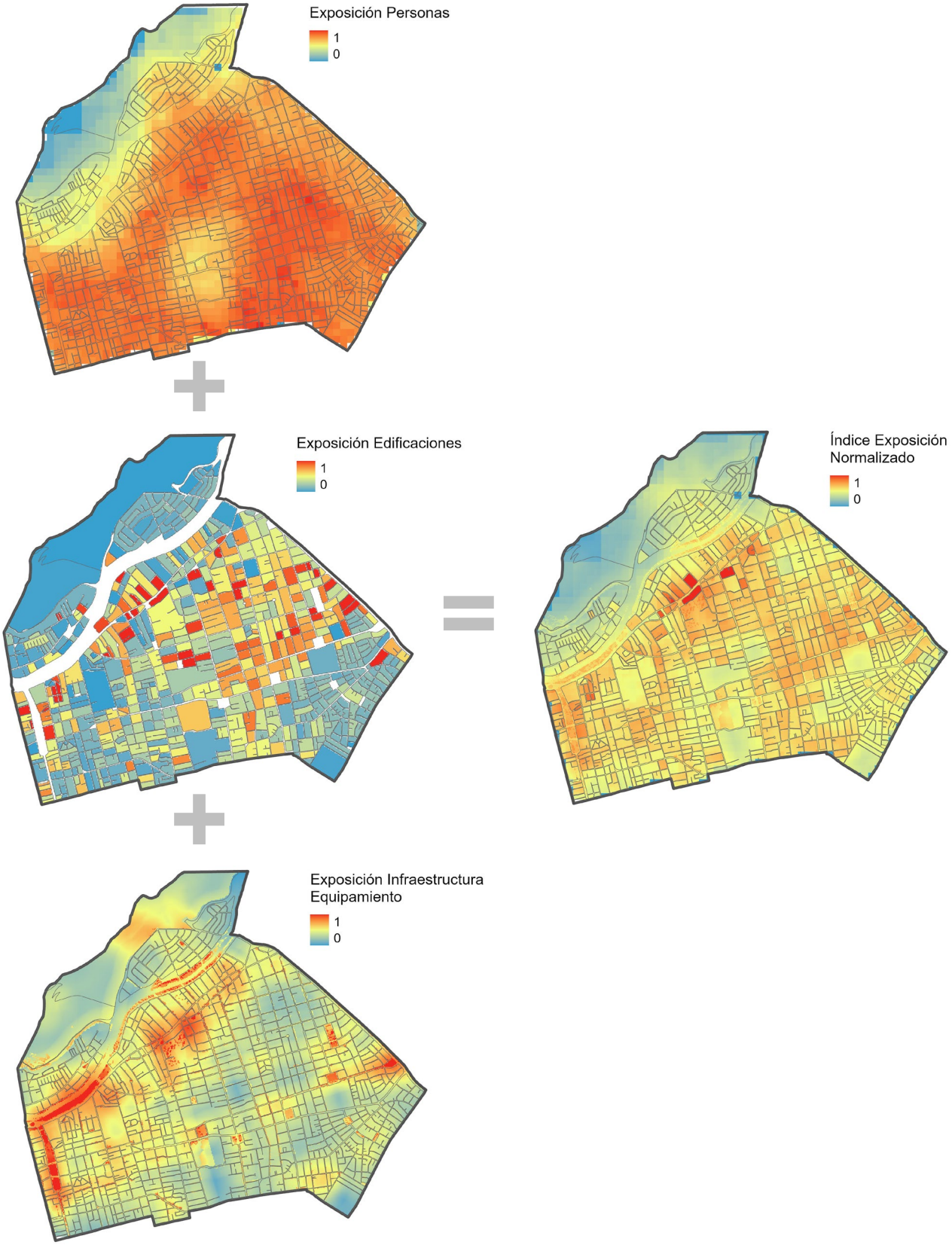
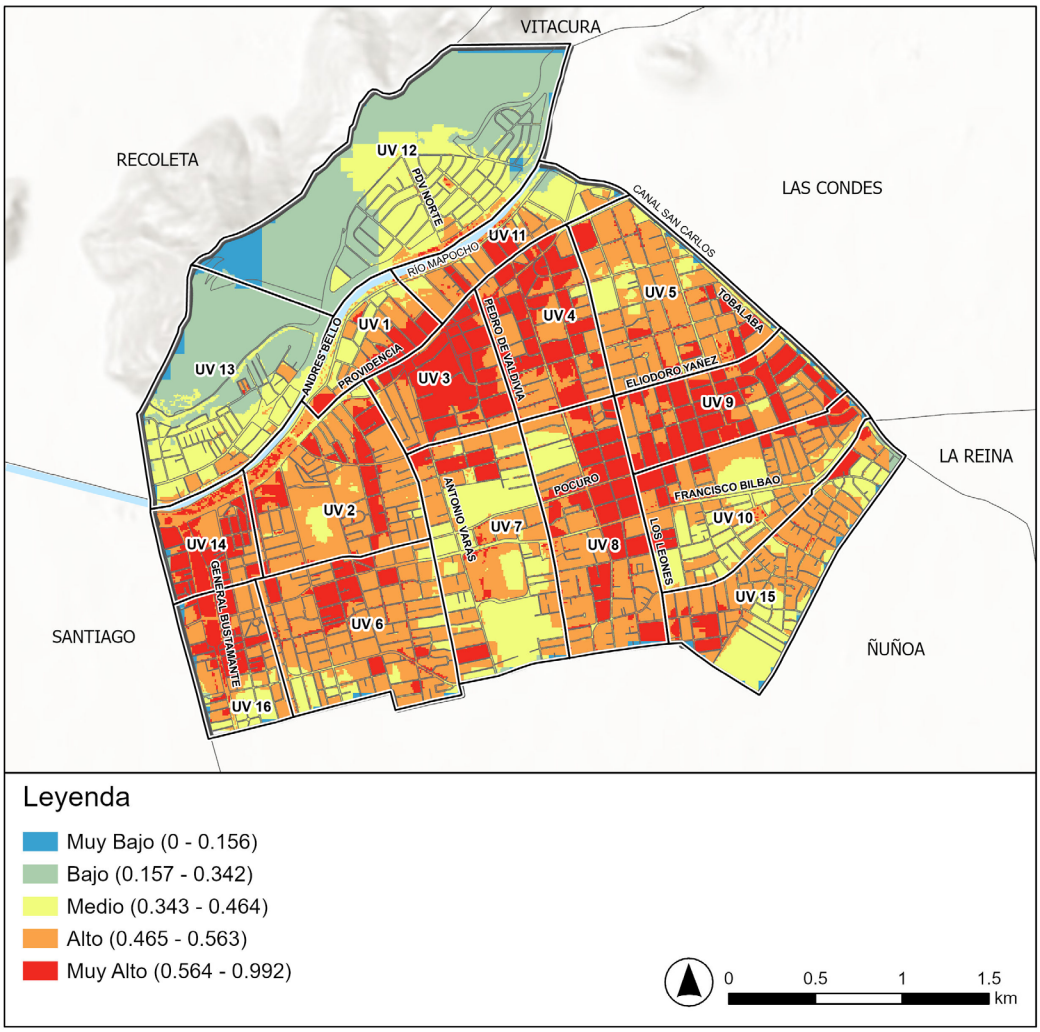


Figura 72. Proceso de construcción del índice general de exposición. Resultado normalizado entre 0 y 1. Fuente: elaboración propia.

b. Resultados del índice general de exposición

Una forma de analizar el índice de exposición es agrupando los valores de la normalización en clases o niveles, lo que permite entender la concentración de los eleméntenos expuestos y sus patrones espaciales en la comuna. Se observa que el 20% (287 ha) de la comuna presenta un nivel de exposición “muy alto”, mientras que el 40% (580 ha) corresponde a nivel “alto”. El nivel de exposición “muy alto” se concentra en el eje Providencia, y zonas poniente y suroriente, lo que se explica por la distribución de la densidad poblacional y de edificaciones, por un lado, y por la concentración de infraestructura en el eje comercial.



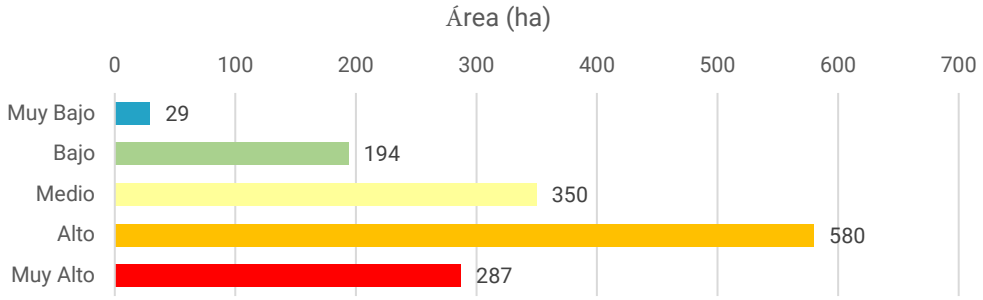


Figura 73. Índice general de exposición en clases y gráfico de superficie comunal bajo cada clase de exposición. Fuente: elaboración propia.

Al evaluar la exposición a escala de unidad vecinal, se observa que las UV 3, 9, 14 y 4 presentan niveles de exposición “muy alto” sobre el 40% hasta un máximo de 64% en la UV3. El nivel de exposición “alto” se distribuye de manera similar entre todas las UV, salvo en las UV 12 y 13 que corresponden a zonas que abarcan el Cerro San Cristóbal. Estas últimas, en consecuencia, presentan niveles bajos de exposición (54% en el nivel “bajo”).

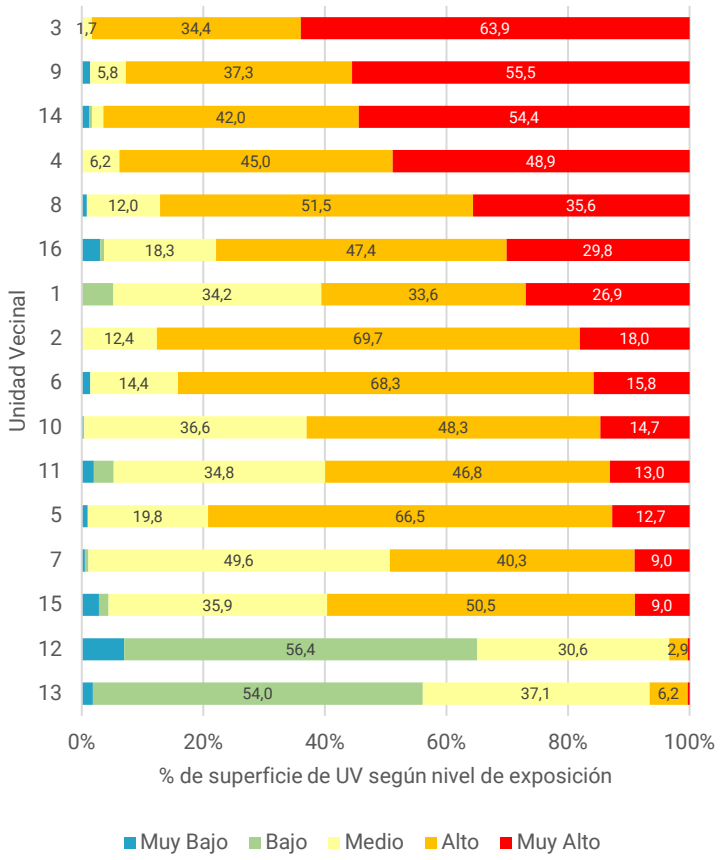


Figura 74. Porcentaje de la superficie de unidades vecinales según nivel de exposición. Fuente: elaboración propia.

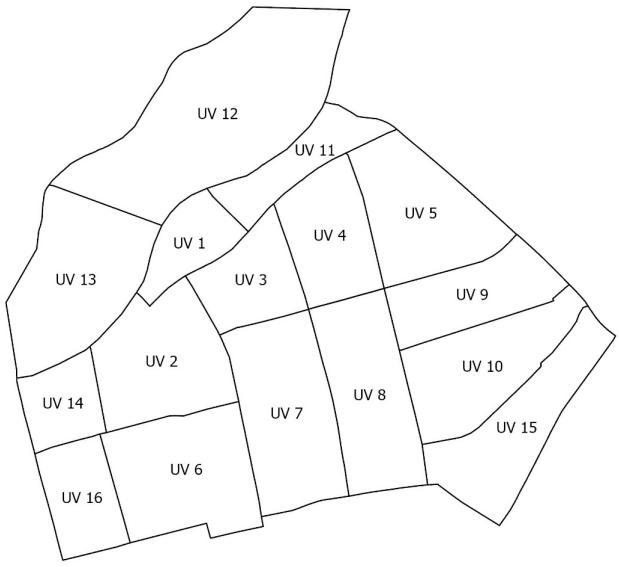


Figura 75. Mapa de referencia con unidades vecinales (UV). Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia.

III. VULNERABILIDAD DE LOS SISTEMAS CRÍTICOS

1. Caracterización de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad comprende aquellas variables geográficas que reflejan cuan propenso es un sistema crítico de sufrir y/o soportar impactos producto de las amenazas climáticas priorizadas en el estudio. Recordando la conceptualización de la vulnerabilidad en la E2, las variables se estructuran por componentes, los que poseen una dimensión y se asocian, a su vez, a un sistema crítico. En conjunto, permiten caracterizar la vulnerabilidad de la comuna.

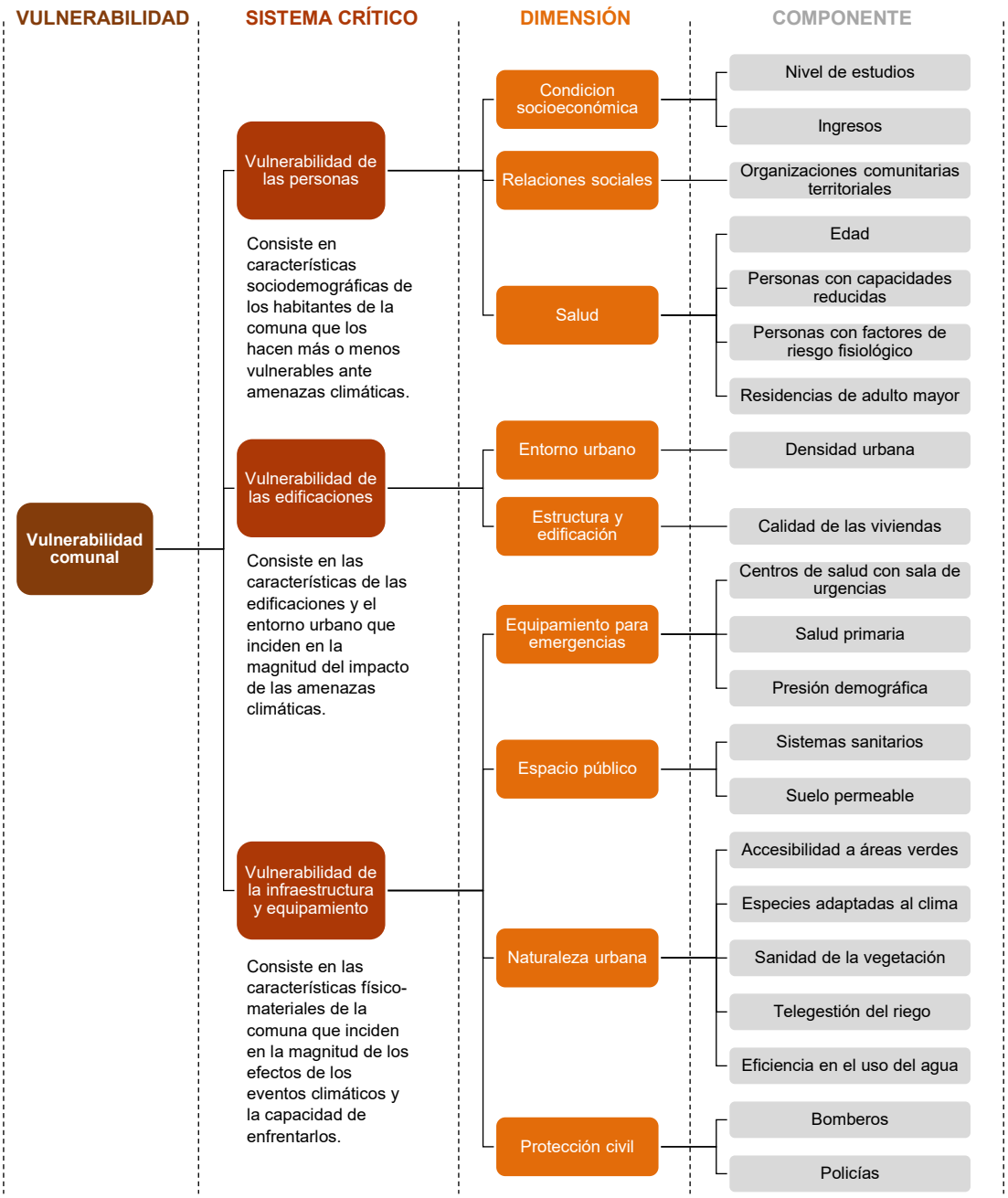


Figura 76. Estructura de los componentes de la vulnerabilidad. Fuente: elaboración propia.

Para caracterizar cada componente, se generaron indicadores geográficos a partir de variables espaciales. Notar que la mayoría de los componentes se caracterizan con una variable geográfica, pero hay tres componentes que se caracterizan con dos variables. La tabla a continuación presenta los parámetros de caracterización para cada componente.

- **Variable:** nombre de las variables –es decir, datos geográficos– que componen el indicador.
- **Criterio metodológico del indicador:** resumen del tratamiento analítico de las variables para la construcción del indicador geográfico.
- **Criterio de normalización del indicador:** se refiere al método de asignación de puntajes entre 0 y 1 según la distribución y el significado de los datos. En la mayor parte de los casos se usó el criterio del promedio de datos para una normalización directa. En algunos casos se fijó el promedio de acuerdo a un criterio conceptual (por ejemplo, en el caso en que los datos son clases nominales en vez de datos numéricos).
- **Sentido del indicador:** indica cómo se relacionan los datos en relación al aumento o disminución de vulnerabilidad. Sentido positivo: reducción de la vulnerabilidad. Sentido negativo: aumento de la vulnerabilidad. El sentido de la variable fue funcional para la gestión conceptual-metodológica de cada variable y su rol en el indicador de vulnerabilidad según dimensión. No representa aspectos de variación estadística y fue utilizado para el trabajo interno en relación a los datos según su contribución al aumento (sentido conceptual negativo) o disminución de vulnerabilidad (sentido conceptual positivo).

Sistema crítico	Dimensión	Componente	Variable	Criterio metodológico del indicador	Criterio de normalización	Sentido
Personas	Condición socioeconómica	Nivel de estudios	Porcentaje de población con estudios de educación superior.	Porcentaje de población con estudios de educación superior (técnica y universitaria) con respecto a la población según zona censal.	Promedio de datos	**Positiva**: Una mayor proporción de personas con estudios contribuye positivamente a la capacidad de respuesta y menor vulnerabilidad.
		Ingresos	Porcentaje de población con ingresos bajos en la comuna.	Porcentaje de población con ingreso bajo (GSE D y E) según zona censal 2017, en base a la clasificación del Índice socio material territorial (ISMT), realizado por el Observatorio de ciudades UC (OCUC).	Promedio de datos	**Negativa**: Mayor pobreza implica mayor vulnerabilidad.
	Relaciones sociales	Organizaciones comunitarias territoriales	Nivel de actividad de las juntas de vecinos según unidad vecinal.	Porcentaje de juntas de vecinos inactivas según unidad vecinal.	UV sin juntas de vecinos activas	**Negativa**: La presencia de organizaciones funcionales a nivel local involucra mayor capacidad de organización y tejido social, por lo que su ausencia implica una mayor vulnerabilidad.
	Salud	Edad	Población en edad vulnerable a eventos climáticos.	Porcentaje de población menor de 5 años y mayor a 65 años por manzana.	Promedio de datos	**Negativa**: mayor cantidad de población vulnerable implica mayor vulnerabilidad.
		Personas con capacidades reducidas	Población bajo control programa Dependencia Severa de los CESFAM de la comuna.	Porcentaje de población con dependencia severa por manzana.	Promedio de datos	**Negativa**: Una mayor concentración de población que requiere de cuidados implica mayor vulnerabilidad.
		Personas con factores de riesgo fisiológico	Población bajo control programa de Salud Cardiovascular de los CESFAM de la comuna.	Porcentaje de población en el programa de salud cardiovascular por manzana.	Promedio de datos	**Negativa**: Una mayor concentración de población que requiere de cuidados implica mayor vulnerabilidad.

Sistema crítico	Dimensión	Componente	Variable	Criterio metodológico del indicador	Criterio de normalización	Sentido
		Residencias de adulto mayor	Presencia de establecimientos de larga estadía para el adulto mayor ELEAM.	La presencia de ELEAM indica una mayor vulnerabilidad debido a la concentración de población de este grupo etario en una manzana.	Promedio de datos	**Negativa**: Una mayor concentración de población que requiere de cuidados implica mayor vulnerabilidad.
Edificaciones	Entorno urbano	Densidad urbana	Densidad de edificaciones de acuerdo a la clasificación de zonas climáticas locales.	Zonas de mayor densidad se asocian a mayor vulnerabilidad, clasificación en base a Stuart y Oke 2012, Urban Temperture Studies.	Promedio de datos	**Negativa**: Zonas de mayor densidad urbana implican factores de sensibilidad que contribuyen a mayor vulnerabilidad urbana.
	Estructura y edificación	Calidad de viviendas	Viviendas en mal estado.	Viviendas recuperables e irrecuperables por manzana.	Promedio de datos	**Negativa**: Áreas que concentran viviendas en mal estado presentan mayor vulnerabilidad.
Infraestructura y Equipamiento Público	Equipamiento para emergencias	Centros de salud con sala de urgencias	Accesibilidad a centros de salud con salas de urgencias de la comuna.	Distancia en tiempo de caminata en rango de 5 minutos hasta un máximo aceptable de 15 minutos a salas de urgencia.	15 min	**Negativa**: Menor acceso a servicios de urgencia implica mayor vulnerabilidad.
		Salud primaria	Accesibilidad a centros de salud primaria de la comuna.	Distancia en tiempo de caminata en rango de 5 minutos hasta un máximo aceptable de 15 minutos a salud primaria.	15 min	**Negativa**: Menor acceso a salud implica mayor vulnerabilidad.
		Presión demográfica	Nivel de concurrencia de población flotante.	Concentración de población flotante según zonas Estraus ECV, lo que ocasiona una presión sobre el uso y disponibilidad de equipamiento comunal.	Promedio de datos	**Negativa**: Áreas que concentran población flotante implican mayor vulnerabilidad respecto de la presión sobre servicios e infraestructura local.
	Espacio publico	Sistemas sanitarios	Accesibilidad a bebederos públicos de la comuna.	Distancia en tiempo de caminata en rango de 5 minutos hasta un máximo aceptable de 15 minutos a bebederos y baños públicos.	15 min	**Negativa**: Menor acceso a hidratación implica mayor vulnerabilidad.
			Accesibilidad a baños públicos de la comuna.		15 min	**Negativa**: Menor acceso a servicios higiénicos implica mayor vulnerabilidad.
		Suelo permeable	Superficies permeables en la comuna.	Superficies de tierra o vegetal, que contribuyen a la disminución de escorrentía y acumulación de aguas debido a la capacidad de infiltración de lluvias. Su presencia se asocia a una menor vulnerabilidad, especialmente las superficies con vegetación a las que se les asignó mayor puntaje que a las de tierra.	Promedio de datos	**Positiva**: Las superficies permeables contribuyen a reducir la vulnerabilidad frente a amenazas como inundaciones.
	Naturaleza urbana	Accesibilidad áreas verdes	Accesibilidad a plazas según manzana.	Manzanas que se encuentran en un rango de 400 metros de distancia de plazas y manzanas que se encuentran en un rango de 800 metros de distancia de parques.	Promedio de datos	**Positiva**: Un mejor acceso a plazas implica menor vulnerabilidad.
			Accesibilidad a parques según manzana.		Promedio de datos	**Positiva**: Un mejor acceso a parques implica menor vulnerabilidad.
		Especies adaptadas al clima	Especies arbóreas recomendadas para la Región Metropolitana.	Densidad de especies presentes en la comuna de la cual depende el nivel de resiliencia y capacidad de adaptación de la vegetación. La selección de especies se realizó en base a la “Guía de arborización urbana para la RM” de la Asociación	Promedio de datos	**Positiva**: La presencia de especies adaptadas al clima implica una menor vulnerabilidad.

Sistema crítico	Dimensión	Componente	Variable	Criterio metodológico del indicador	Criterio de normalización	Sentido
				Chilena de Profesionales del Paisaje, 2012.		
		Sanidad de la vegetación	Estado de áreas verdes.	Se considera el estado de la vegetación (bueno, regular y malo) y la concentración (densidad) de árboles según la cantidad de defectos.	Promedio de datos	**Positiva**: La presencia de áreas verdes en buen estado contribuye a una menor vulnerabilidad.
			Árboles con defectos.		Promedio de datos	**Negativa**: La concentración de árboles con defectos contribuye a una mayor vulnerabilidad.
		Telegestión del riego	Áreas verdes con sistema de telegestión de riego.	Se evaluó la presencia de telegestión, lo que permite mejorar la gestión integral del riego de parques, plazas, plazuelas y bandejones en la comuna.	Promedio de datos	**Positiva**: La presencia de áreas verdes con riego con telegestión contribuye a una menor vulnerabilidad.
		Eficiencia en el uso del agua	Jardines sustentables ejecutados en la comuna.	Se evaluó la presencia de jardines sustentables, que indica una mayor eficiencia en el uso de agua para riego.	Promedio de datos	**Positiva**: La presencia del programa de jardines sustentables contribuye a una menor vulnerabilidad.
	Protección civil	Bomberos	Accesibilidad a cuerpos de bomberos en la comuna.	Distancia en tiempo de caminata en rango de 5 minutos hasta un máximo aceptable de 15 minutos a cuerpos de bomberos.	15 min	**Negativa**: Menor accesibilidad a bomberos implica mayor vulnerabilidad.
		Policías	Accesibilidad a cuarteles de carabineros en la comuna.	Distancia en tiempo de caminata en rango de 5 minutos hasta un máximo aceptable de 15 minutos dependencias de carabineros.	15 min	**Negativa**: Menor accesibilidad a carabineros implica mayor vulnerabilidad.

Tabla 15. Parámetros de caracterización de componentes de vulnerabilidad. Fuente: elaboración propia.

2. Índice general de vulnerabilidad

El índice general de vulnerabilidad corresponde al tercer y último componente para calcular el riesgo climático según la fórmula general de riesgo que guía el proceso analítico del estudio:

$$Rg = \{(Ai) \times (Ei) \times (Vi)\}$$

Donde:

- Rg: Riesgo climático
- Ai: Índice general de amenaza
- Ei: Índice general de exposición
- Vi: Índice general de vulnerabilidad

a. Construcción del índice general de vulnerabilidad

El índice general de vulnerabilidad fue generado a partir de un cruce espacial de los índices de vulnerabilidad normalizados para cada sistema crítico, como se observa en la figura en la página siguiente. El índice general de vulnerabilidad computa todos los componentes de cada dimensión individualizados en el punto anterior para generar el resultado final. Así, el índice representa los patrones de distribución geográfica de zonas más o menos vulnerables en la comuna. Al igual que todos los índices, este toma la forma de una capa geográfica tipo *raster* de resolución 10 metros y con valores normalizados entre 0 y 1.

Figura 77. Proceso de construcción del índice general de vulnerabilidad. La vulnerabilidad general es el resultado de la combinación de la vulnerabilidad de cada sistema crítico. Resultado normalizado entre 0 y 1. Fuente: elaboración propia.

b. Resultados del índice general de vulnerabilidad

La zona de mayor vulnerabilidad se ubica en el sector nororiente antes del río Mapocho con niveles “muy alto” y “alto”. Destaca también el sector surponiente con preponderancia de niveles “alto” y “medio” con zonas esporádicas de nivel “muy alto” en el límite sur. Los sectores norte, centro y oriente de la comuna poseen baja vulnerabilidad. El nivel “bajo” de vulnerabilidad comprende el 35% (505 ha) de la superficie comunal y junto con el nivel “medio” (31% o 445 ha) son las clases con mayor representación en la comuna. La superficie comunal con nivel “muy alto” de vulnerabilidad es escasa (6% o 82 ha) y ésta aumenta a aproximadamente al doble en el nivel “alto” (14% o 205 ha).

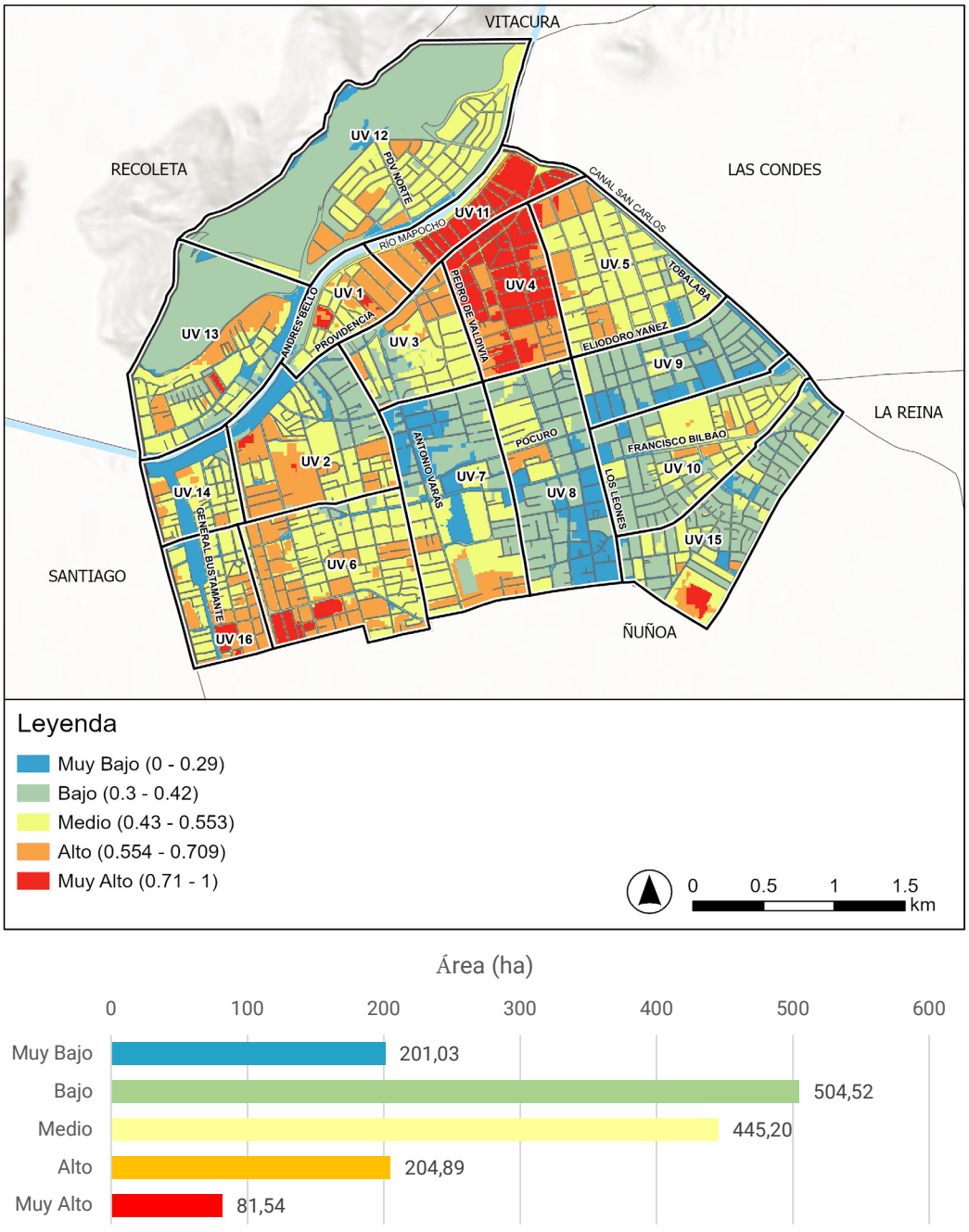


Figura 78. Índice general de vulnerabilidad por clases y gráfico de superficie comunal bajo cada clase de vulnerabilidad. Fuente: elaboración propia.

Las unidades vecinales (UV) con mayor superficie con vulnerabilidad “muy alta” son las UV4 y 11 en la zona nororiente con sobre el 50% de superficie en esta clase. Las UV6 y 16 en la zona surponiente poseen baja superficie en el nivel “muy alto”, pero cerca del 30% de su superficie está en el nivel “alto”. La misma situación se aplica a la UV 1 que colinda con las UV con mayor vulnerabilidad. Las UV 2 y 14, que completan el cuadrante surponiente, poseen ambas cerca del 60% de su superficie con niveles “alto” y “medio”.

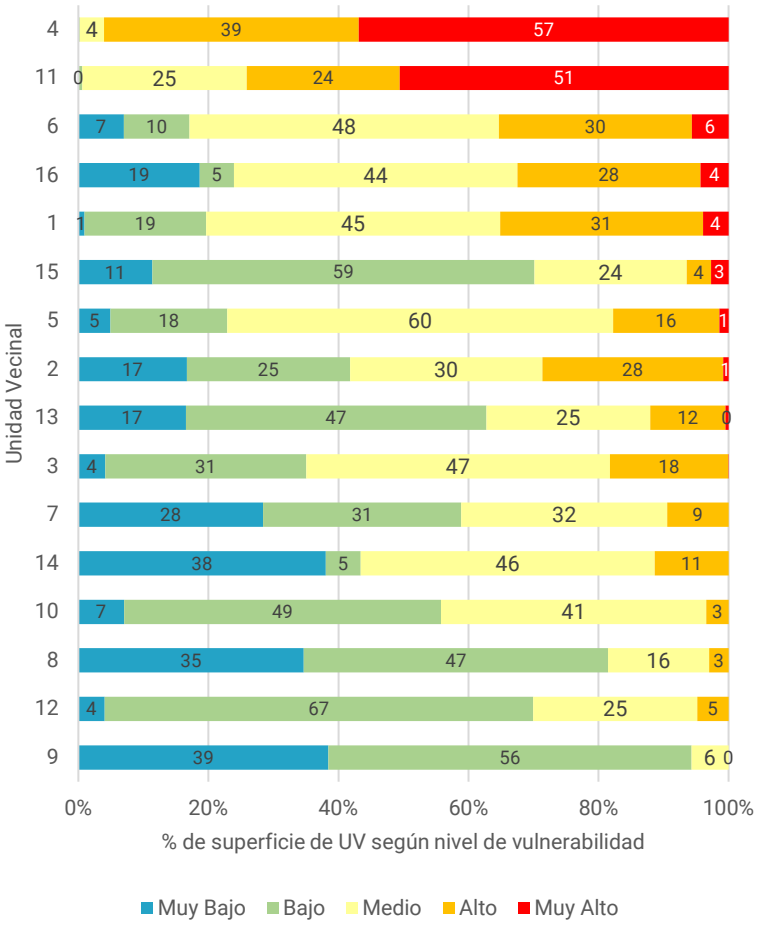


Figura 79. Porcentaje de la superficie de unidades vecinales según nivel de vulnerabilidad. Fuente: elaboración propia.

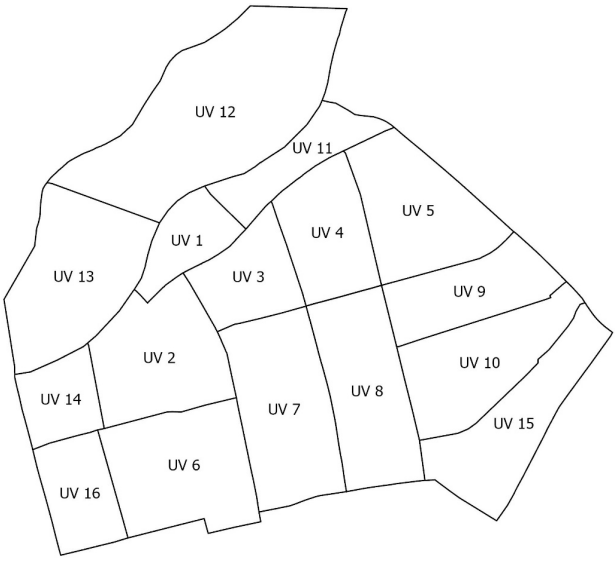
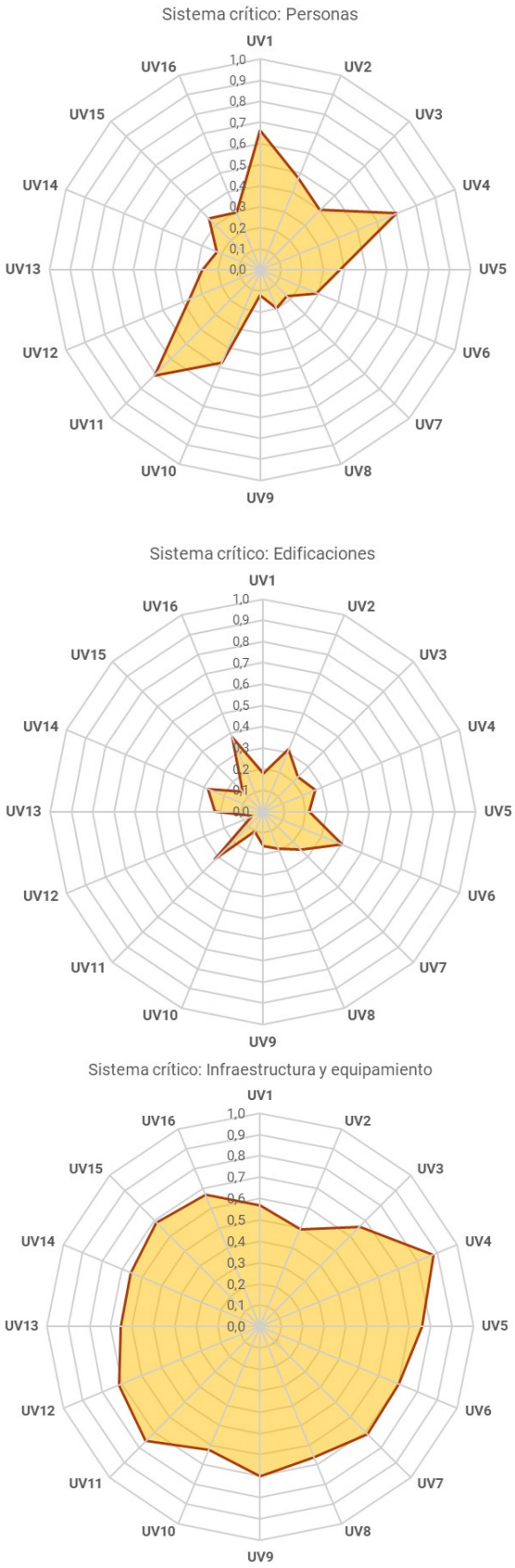


Figura 80. Mapa de referencia con unidades vecinales (UV). Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia.



Adicionalmente, se evaluó la vulnerabilidad por sistema crítico a escala de UV. Los valores presentados en los gráficos corresponden al promedio de todos los valores de vulnerabilidad al interior de cada UV. Es decir, los datos han sido agregados según la escala de la UV y, por ello, representan una simplificación del índice general de vulnerabilidad. Así, esta información debe interpretarse como un insumo complementario al índice geográfico el cual representa de mejor forma la vulnerabilidad a nivel espacial.

Se observa que el sistema crítico (SC) “infraestructuras y equipamiento” es el que presenta los mayores niveles de vulnerabilidad, seguido de “personas” y finalmente “edificaciones”.

En el SC “personas”, destacan las UV1,4 y 11 con valores cercanos a 0,7, lo que es coincidente con la concentración de vulnerabilidad general en la zona nororiente de la comuna antes del río Mapocho.

En el SC “edificaciones” los valores no sobrepasan 0,4. Los bajos valores de vulnerabilidad en este SC se deben a que, en general, la comuna posee una buena integridad de las edificaciones y una morfología urbana que calibra la relación entre densidad, espacio público y áreas verdes. Sin embargo, las UV6, 16, 14 y 2, en el cuadrante surponiente, poseen una vulnerabilidad ligeramente mayor. También destaca la UV11 donde están los mayores niveles de vulnerabilidad general y sectores de la UV13 en donde el stock edificado es relativamente más antiguo.

El SC “infraestructura y equipamiento” posee valores en torno a 0,7 para todas las UV siendo ligeramente mayor para la UV4 que corresponde a la zona de mayor vulnerabilidad comunal de acuerdo al mapa de vulnerabilidad general.

Figura 81. Vulnerabilidad por sistema crítico y unidad vecinal. Valores van de 0 (menor vulnerabilidad) a 1 (mayor vulnerabilidad). Fuente: elaboración propia.

E4. Riesgo comunal y medidas de adaptación

En esta etapa se evalúa el riesgo climático comunal, integrando los tres componentes del riesgo desarrollados anteriormente: amenazas, exposición y vulnerabilidad. Se evalúa la expresión territorial del riesgo a escala comunal, identificando zonas homogéneas y áreas prioritarias. Se identifican medidas de adaptación enfocadas en las amenazas priorizadas y se recomienda su aplicación por unidad vecinal de acuerdo a un perfil de riesgo que integra múltiples parámetros de información.

Contenidos:

I. Riesgo climático
II. Medidas de adaptación para la resiliencia comunal
III. Perfiles de riesgo por unidad vecinal
IV. SIG con perfil de riesgo y medidas de adaptación por unidad vecinal

I. RIESGO CLIMÁTICO

1. Determinación del riesgo climático

Recordando las definiciones de la E2, el riesgo climático es la probabilidad de que en el territorio comunal ocurran alteraciones o impactos en el funcionamiento normal de los sistemas críticos de interés para la gestión del riesgo. La probabilidad de impacto depende de la interacción entre la intensidad de eventos físicos de origen climático, la concentración de sistemas críticos comunales expuestos a dichos eventos (exposición) y las condiciones intrínsecas o de contexto (vulnerabilidad) que hacen que los elementos expuestos sean más o menos propensos a sufrir y/o soportar impactos producto de las amenazas.

Considerando la definición anterior, la determinación del riesgo comunal depende del análisis de sus tres componentes: amenazas, exposición y vulnerabilidad. Como se detalló en la E3, cada componente se desarrolló como un índice geográfico normalizado lo que permite calcular el riesgo mediante la combinación analítica de los tres componentes. Conceptualmente, y cómo se detalló en la E2, el riesgo toma la siguiente forma:

$$Rg = \{(Ai) \times (Ei) \times (Vi)\}$$

Donde:

- Rg: Riesgo climático
- Ai: Índice general de amenaza
- Ei: Índice general de exposición
- Vi: Índice general de vulnerabilidad

En la página siguiente se puede observar el riesgo climático como resultado de integrar sus tres componentes. El mapa muestra los valores normalizados de riesgo climático (0-1) en donde a mayor valor, mayor es el riesgo climático en el territorio. Es importante destacar que el riesgo climático computa un total de 45 variables espaciales considerando los tres componentes. Su lógica analítica permite interpretar los patrones espaciales del riesgo como un resultado priorizado y de alta precisión territorial.

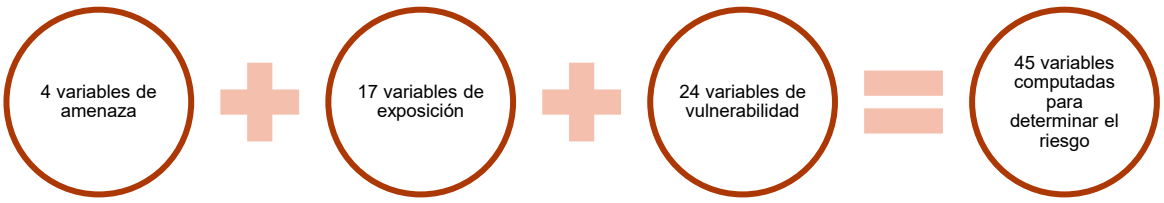


Figura 82. Cantidad de variables computadas para calcular el riesgo climático. Fuente: elaboración propia.

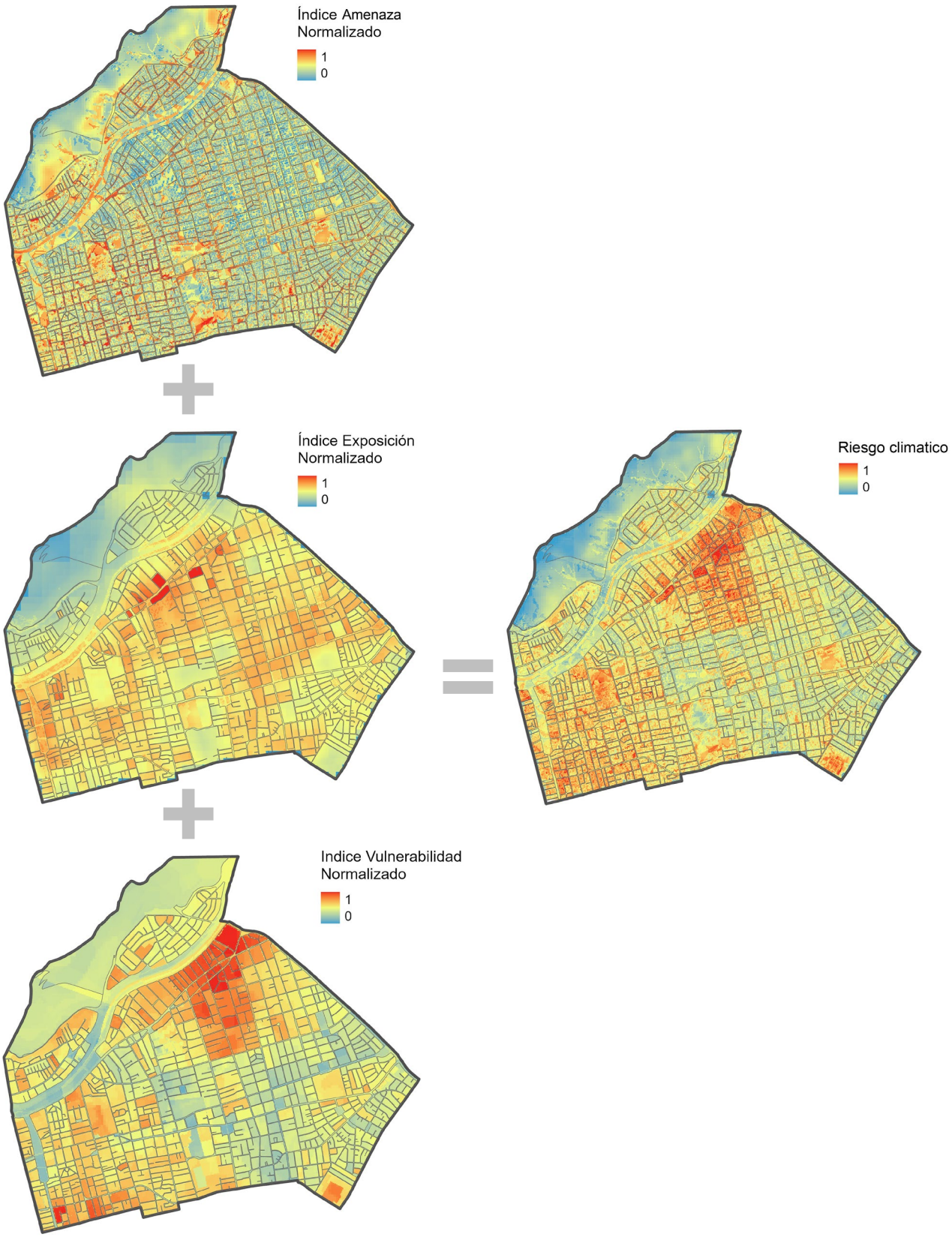


Figura 83. Proceso de construcción del riesgo. Resultado normalizado entre 0 y 1, a mayor valor mayor es el riesgo.
Fuente: elaboración propia.

2. Determinación de zonas homogéneas de riesgo

Como se observa en el histograma, los valores normalizados del resultado del cálculo del riesgo a escala comunal tienen una distribución normal (o distribución de Gauss), en donde la mayoría de los puntos de datos se agrupan en torno a valores centrales o medios, mientras que la distribución hacia los valores extremos (“muy bajo” y “muy alto” riesgo) disminuye de forma simétrica. Esta distribución es común en fenómenos naturales y sociales, puesto que los mecanismos que los controlan son múltiples y complejos en sus relaciones.

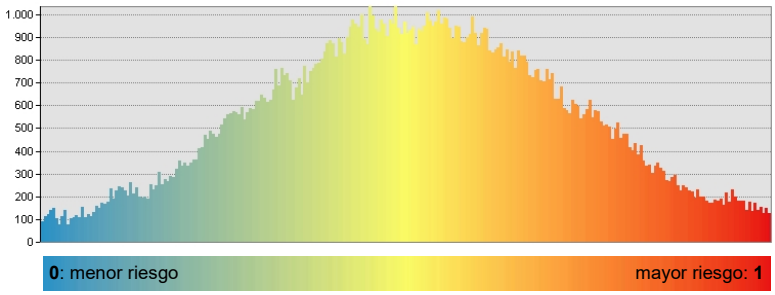


Figura 84. Histograma: distribución de la frecuencia de los valores de riesgo normalizado. Fuente: elaboración propia.

Las zonas homogéneas de riesgo se determinaron mediante una clasificación de los valores normalizados en cinco clases o niveles de riesgo. Se utilizó una clasificación basada en “quiebres naturales”. Este algoritmo genera clases que agrupan valores similares y maximiza la diferencia entre clases. Los quiebres entre cada clase reflejan diferencias relativamente significativas en los valores de los datos, lo que permite caracterizarlos en este caso como zonas homogéneas en donde el riesgo se comporta de manera similar. En el gráfico se muestran en línea azul los quiebres estadísticos que permiten determinar las clases para las zonas homogéneas de riesgo.

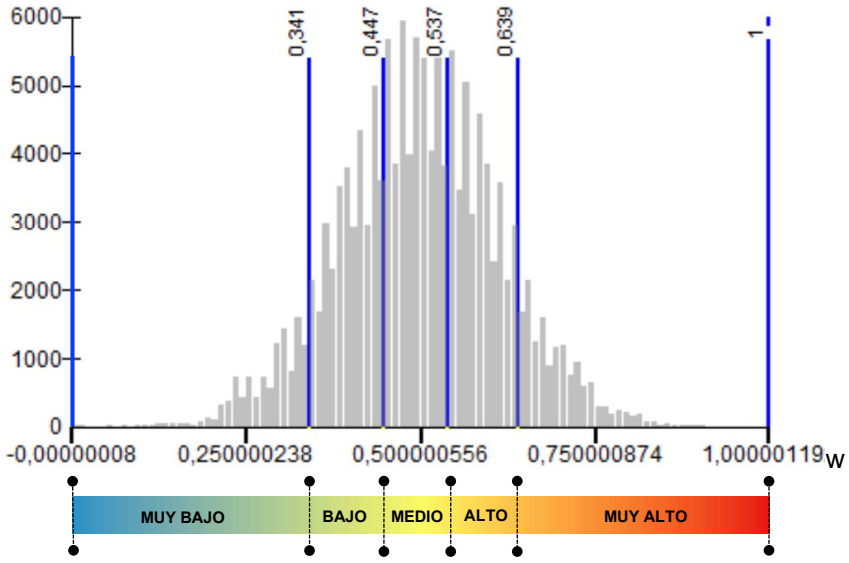


Figura 85. Quiebres estadísticos para las clases de zonas homogéneas de riesgo. Fuente: elaboración propia.

a. Zonas homogéneas de riesgo a escala comunal

Al mapear las clases determinadas se pueden evaluar los patrones territoriales de las zonas homogéneas de riesgo (ver mapa en la página siguiente). Se observa que el riesgo crítico (“muy alto” y “alto”) se distribuye en clústeres en el nororiente y surponiente de la comuna. Si se inspeccionan los componentes del riesgo, el clúster nororiente se explica principalmente por la vulnerabilidad y

exposición, mientras que el cuadrante surponiente se explica por las amenazas y la vulnerabilidad. También se observan clústeres de riesgo “alto” en los barrios localizados a los pies del Cerro San Cristóbal. En la zona central de la comuna y el límite oriente predominan las clases de riesgo “medio” y “bajo”. El riesgo “muy bajo” se localiza mayoritariamente en el Cerro San Cristóbal, en donde los tres componentes del riesgo tienen muy baja manifestación.

La superficie comunal bajo cada zona homogénea de riesgo (clases) presenta una distribución normal, al igual que el histograma analizado anteriormente. La mayor cantidad de área está en las clases de riesgo “medio” (31% o 445 ha), “alto” (26% o 367 ha) y “bajo” (23% o 335 ha). Los extremos presentan valores similares con el 11% (157 ha) de la superficie comunal en la clase “muy alto” y 8% (114 ha) de la superficie en la clase “bajo”.

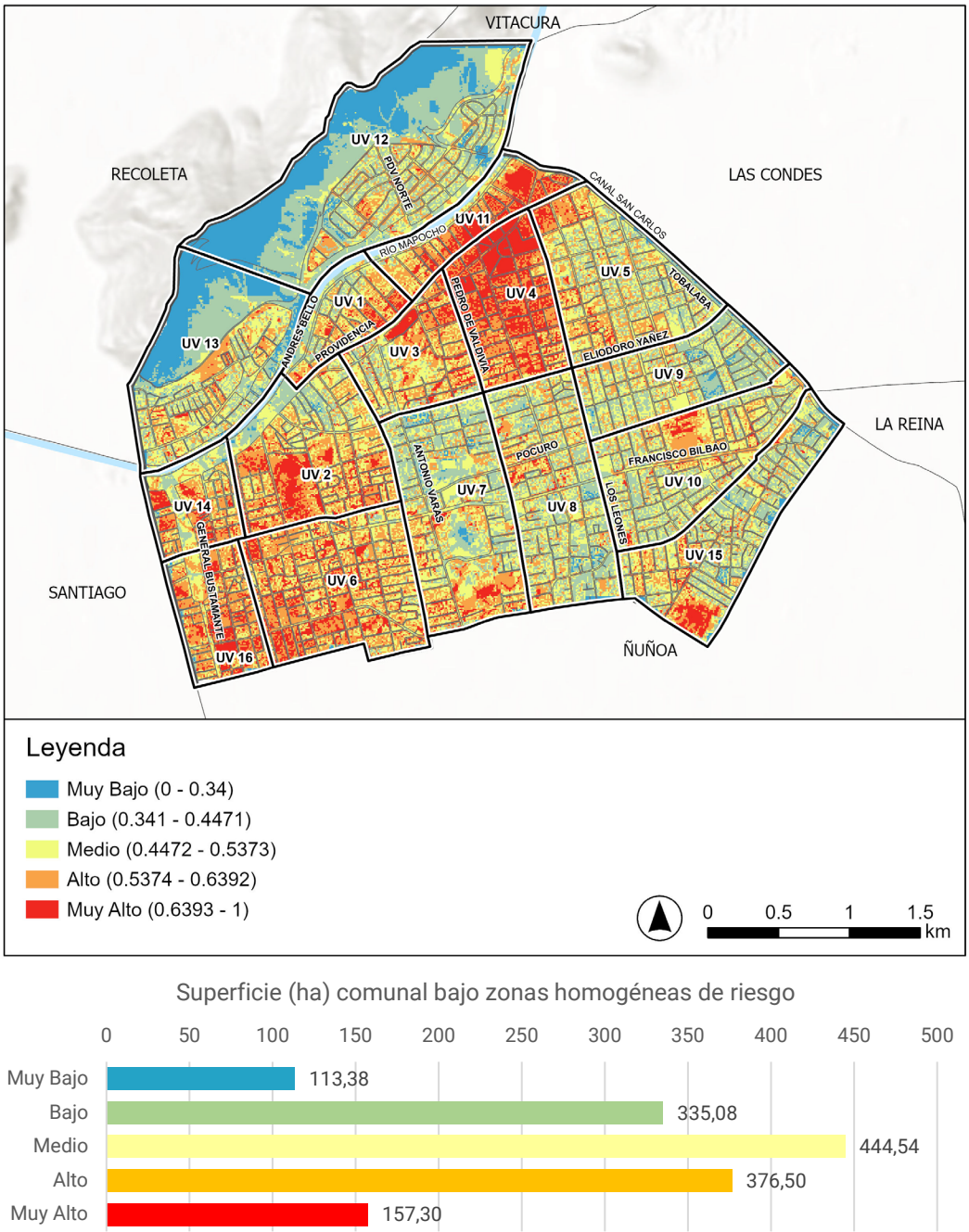


Figura 86. Zonas homogéneas de riesgo y gráfico de superficie comunal bajo cada clase. Fuente: elaboración propia.

b. Zonas homogéneas de riesgo a escala de unidad vecinal

A escala de unidad vecinal, las UV con mayor superficie con riesgo “muy alto” se concentran en los cuadrantes nororiente y surponiente. Destaca la UV 4, 11, 16 y 6 con sobre el 20% de superficie en riesgo muy alto. En el caso de la UV16 es crítico, puesto que la superficie en riesgo “muy alto” alcanza el 56%. A su vez, la UV4 no posee zonas con riesgo “bajo” o “muy bajo”, siendo el único caso en esta condición. El riesgo “alto” posee una distribución similar en las UV de dos cuadrantes mencionados con rangos entre el 35-46% de la superficie en dicha clase. Destacan las UV11, 16 y 6 con sobre el 40% de su superficie en riesgo “alto”.

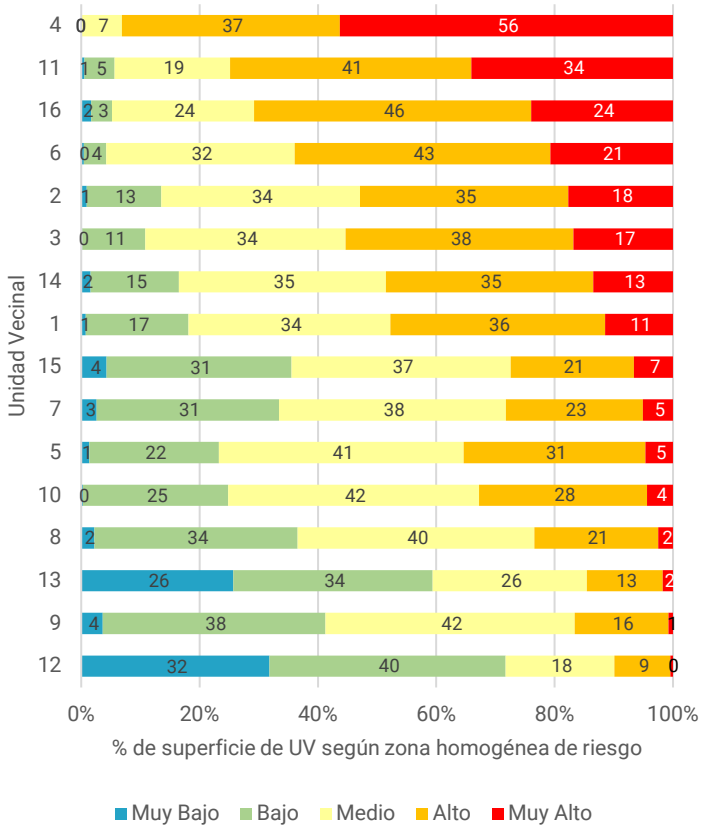


Figura 87. Porcentaje de la superficie de unidades vecinales según zona homogénea de riesgo. Fuente: elaboración propia.

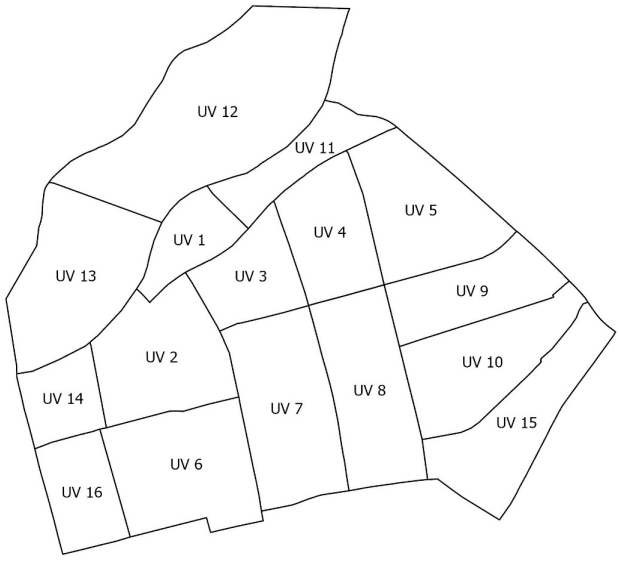


Figura 88. Mapa de referencia con unidades vecinales (UV). Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia.

3. Identificación de áreas prioritarias para la gestión del riesgo climático

Las zonas homogéneas constituyen una herramienta adecuada para priorizar áreas comunales en que es necesario gestionar el riesgo climático mediante la implementación de medidas de adaptación u otras acciones afines. Dada su lógica analítica, las zonas homogéneas son una priorización en si misma puesto que el resultado se desprende de la integración de múltiples variables para cada componente del riesgo como se mencionó al inicio de esta etapa. Por ejemplo, en los mapas abajo se muestran las zonas homogéneas de riesgo “muy alto” y “alto”, las que permiten identificar áreas de la comuna que pueden ser objeto de estrategias para la gestión del riesgo climático.

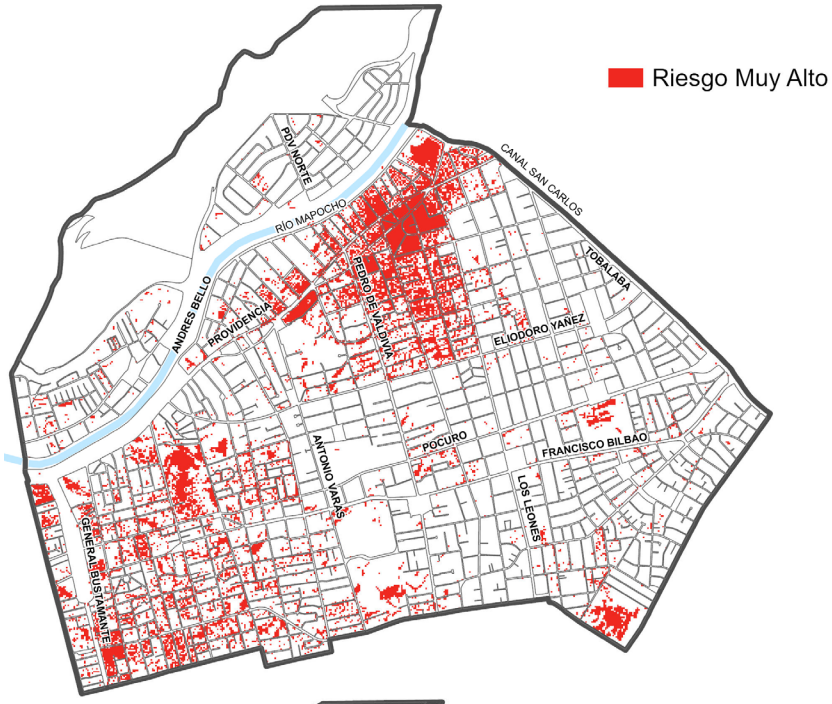


Figura 89. Zonas homogéneas de riesgo muy alto. Fuente: elaboración propia.

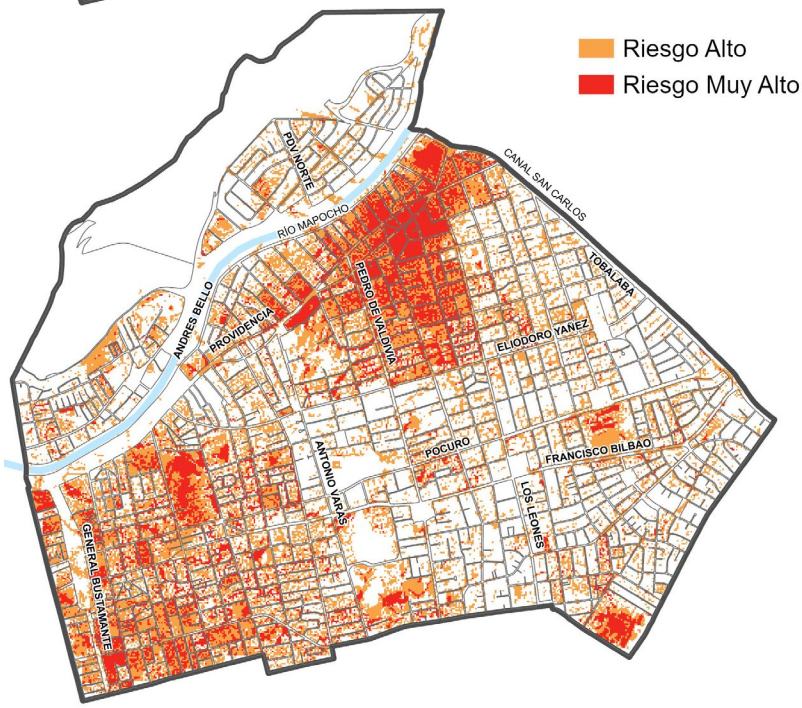


Figura 90. Zonas homogéneas de riesgo alto y muy alto. Fuente: elaboración propia.

No obstante lo anterior, y de forma complementaria, es posible realizar un análisis condicional mediante criterios geográficos para identificar áreas cuyas características las hacen prioritarias desde el punto de vista de la gestión del riesgo climático. El análisis considera criterios para los componentes de vulnerabilidad y amenaza, dejando fuera la exposición bajo dos supuestos:

- No existe una porción del territorio comunal que no tenga elementos expuestos.
- Los elementos expuestos varían escasamente en el tiempo.

Así, el análisis permite priorizar por vulnerabilidad y amenaza, independientemente de que existan más o menos elementos expuestos en el territorio analizado. Se generaron diversos escenarios de priorización según combinatorias de criterios como se observa en la tabla a continuación:

Escenario	Vulnerabilidad	Amenaza
E1	Muy alta	Muy alta
E2	Muy alta + alta	Muy alta
E3	Muy alta + alta	Muy alta + alta
E4	Muy alta	Media
E5	Muy alta + alta	Muy alta + alta + media

Tabla 16. Escenarios para la identificación de áreas prioritarias. Fuente: elaboración propia.

Para cada escenario se evaluó la superficie en hectáreas que cumple o no con la combinatoria de criterios de vulnerabilidad y amenaza. En la práctica, un área prioritaria consiste en zonas de la comuna en donde conviven espacialmente ambas condiciones especificadas. Como se observa en el gráfico, los escenarios 3 y 5 son los que poseen mayor superficie que cumple con las condiciones.

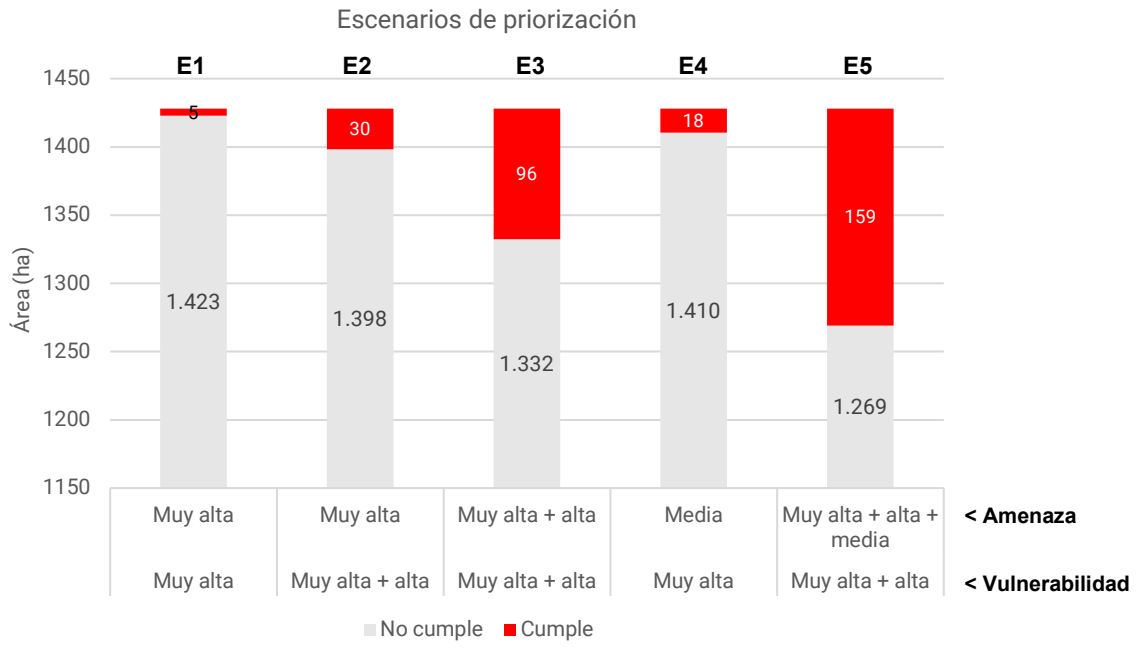


Figura 91. Resultados de escenarios de priorización. Gráfico muestra la superficie en hectáreas que cumple o no con las condiciones. Fuente: elaboración propia.

Se seleccionó el escenario 5 como resultado de las áreas prioritarias para la gestión del riesgo climático, dado que es el que prioriza una mayor área y, a la vez, genera un patrón territorial de zonas unitarias que son identificables en el territorio[15].

El mapa muestra la expresión territorial de la priorización. A diferencia de las zonas homogéneas, los resultados permiten identificar de mejor forma las manzanas prioritarias por lo que es una herramienta útil para la focalización de acciones. Similar a los patrones de áreas homogéneas, se observan áreas prioritarias en el cuadrante nororiente al sur del río Mapocho, el cuadrante surponiente y zonas a los pies del cerro San Cristóbal en Bellavista y Pedro de Valdivia Norte.

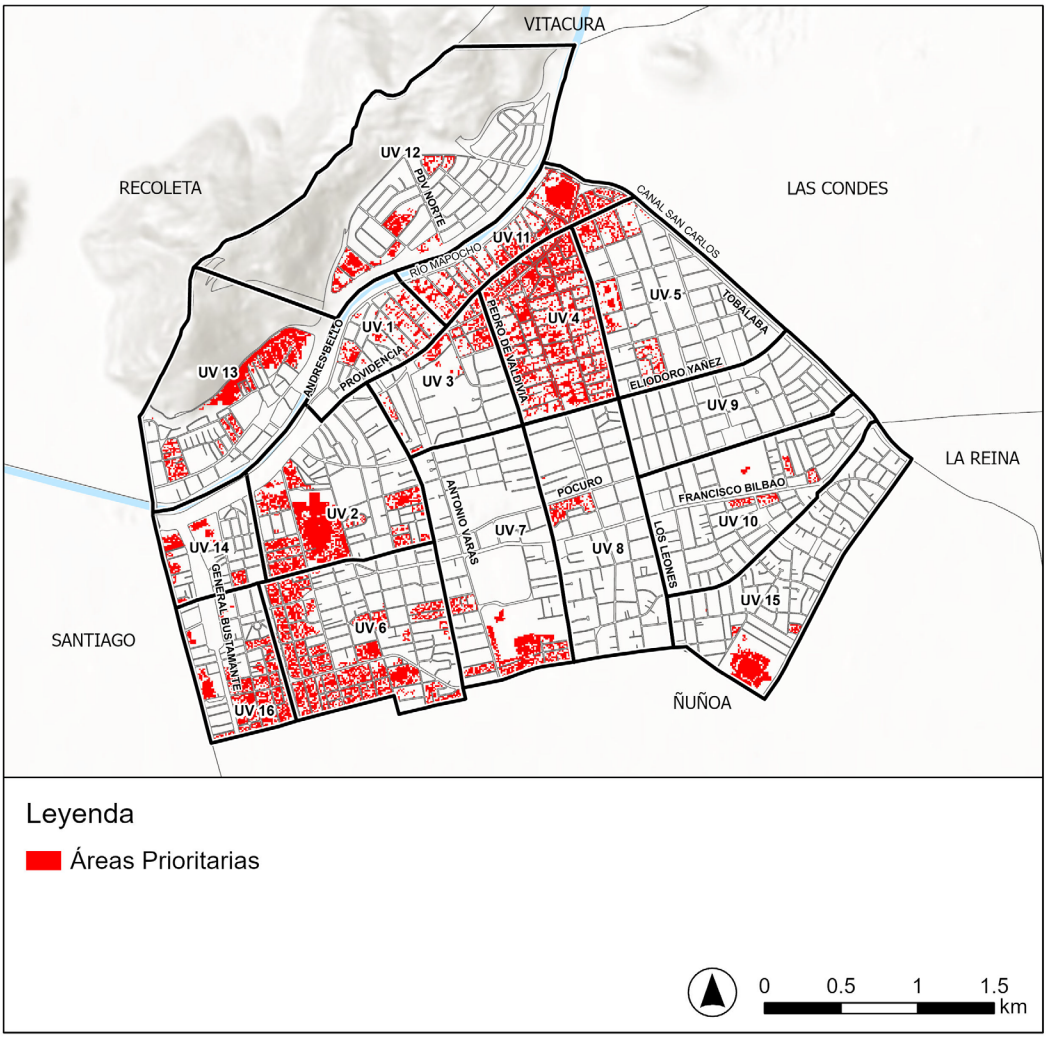


Figura 92. Áreas prioritarias para la gestión del riesgo climático. Fuente: elaboración propia.

[15] El resto de los escenarios no generaron patrones territoriales identificables debido a la dispersión espacial del patrón y la escasa área priorizada.

Al analizar las áreas prioritarias por unidad vecinal se observa un gran número de UV cuya superficie como área prioritaria es relativamente marginal. Diez de las dieciséis UV no superan el 10% de su superficie como área prioritaria. El resto varía entre 10% y 49%. En el cuadrante nororiente destacan las UV4 y 11 con 49% y 35% de su superficie como área prioritaria respectivamente. En el cuadrante surponiente, las UV6 y 16 poseen la misma cantidad de área prioritaria, la que corresponde al 22% de la superficie. Las UV2 (19%) y UV1 (10%) completan las áreas prioritarias del cuadrante surponiente y nororiente, respectivamente. Destaca también, la UV13 a los pies del cerro San Cristóbal con un 9% de su superficie como área prioritaria. Se observa que el Campus Oriente aparece como un área prioritaria, lo que se explica por la presencia de amenazas.

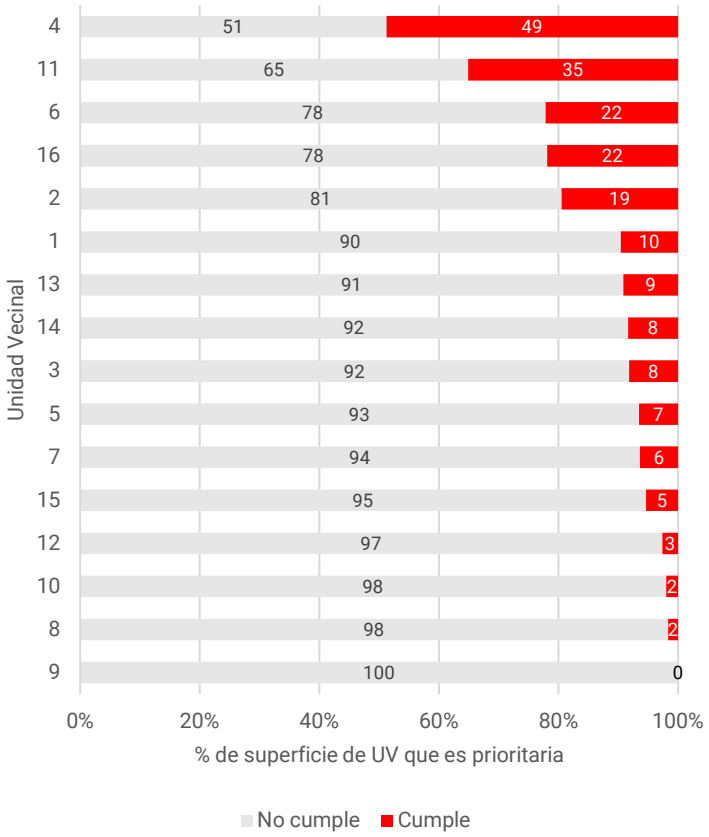


Figura 93. Porcentaje de la superficie de unidades vecinales que es área prioritaria para la gestión del riesgo. Fuente: elaboración propia.

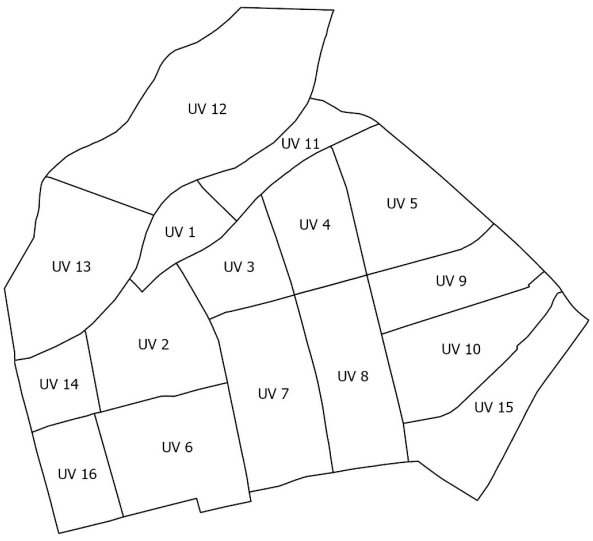


Figura 94. Mapa de referencia con unidades vecinales (UV). Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia.

II. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN PARA LA RESILIENCIA COMUNAL

1. Criterios de selección de medidas

Se realizó una revisión bibliográfica extensiva para la búsqueda de medidas de adaptación al cambio climático contingentes a las amenazas climáticas que enfrenta la comuna de Providencia. Los criterios de revisión fueron los siguientes:

- Revisión de bibliografía con alcance nacional e internacional.
- Revisión de cuatro tipos de referencias:
  - Guías de mejores prácticas para la adaptación al cambio climático.
  - Planes urbanos o regionales de cambio climático (se procuró incluir planes de ciudades que han avanzado sustancialmente en planes de adaptación climática y ciudades con planes de adaptación que poseen un clima similar a Santiago).
  - Guías de diseño de medidas de adaptación.
  - Estudios o investigaciones sectoriales.
- Selección de medidas orientadas a reducir el impacto de las cuatro amenazas climáticas priorizadas.
- Selección de medidas enfocadas en la implementación pública, privada o público-privado.

Los documentos revisados fueron los siguientes:

Autor	Documento	Procedencia	Tipo	Año
Adjuntament de Barcelona	*Barcelona Climate Action Plan*	Barcelona, España	Plan de cambio climático	2018
Afiq Witri Muhammad Yazid, Nor Azwadi Che Sidik, Salim Mohamed Salim, Khalid M. Saqr	*A review on the flow structure and pollutant dispersion in urban street canyons for urban planning strategies*	Organización internacional	Estudio o investigación	2014
C40 Cities Climate Leadership Group, Global Platform for Sustainable Cities (GPSC)	*Integrating Climate Adaptation. A toolkit for urban planners and adaptation practitioners*	Organización internacional	Guía de mejores prácticas	2020
C40 Cities, McKinsey Sustainability	*Focused adaptation. A strategic approach to climate adaptation in cities*	Organización internacional	Guía de mejores prácticas	2021
City of Boston, Sasaki, Klimaat, All Aces, WSP	*Heat resilience solutions for Boston*	Boston, EEUU	Plan de cambio climático	2022
City of Cape Town	*City of Cape Town Climate Action Plan*	Ciudad del Cabo, Sudáfrica	Plan de cambio climático	2022
City of Los Angeles	*Resilient Los Angeles*	Los Angeles, EEUU	Plan de cambio climático	2018
City of Los Angeles	*L.A.'s Green New Deal. Sustainable City Plan*	Los Angeles, EEUU	Plan de cambio climático	2019

Autor	Documento	Procedencia	Tipo	Año
City of Los Angeles, 100 Resilient Cities	*Resilient Los Angeles*	Los Angeles, EEUU	Plan de cambio climático	2018
Federal Emergency Management Agency	*Protect your property from severe winds*	EEUU	Guía de mejores prácticas	n/a
Gobierno Metropolitano de Santiago, Santiago Resiliente	*Santiago humano y resiliente. Estrategia de resiliencia Región Metropolitana de Santiago*	Santiago, Chile	Plan de cambio climático	2017
Ministerio del Medio Ambiente	*Plan de Adaptación al Cambio Climático para Ciudades 2018-2022*	Santiago, Chile	Plan de cambio climático	2018
Municipalidad de Providencia	*Plan local de cambio climático Comuna de Providencia.*	Providencia, Chile	Plan de cambio climático	2015
Municipalidad de Providencia	*Estrategia hídrica local 2020-20230 Municipalidad de Providencia*	Providencia, Chile	Plan de cambio climático	2020
Muñoz, J. C., J. Barton, D. Frías, A. Godoy, W. Bustamante Gómez, S. Cortés, M. Munizaga, C. Rojas y E. Wagemann. (Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, Chile)	*Ciudades y cambio climático en Chile: Recomendaciones desde la evidencia científica. Santiago: Comité Científico COP25*	Santiago, Chile	Estudio o investigación	2019
NCY Mayor's Office of Resliency	*Climate Resiliency Design Guidelines*	New York, EEUU	Guía de diseño	2020
Proyecto Clima Adaptación Santiago, Gobierno Metropolitano de Santiago, Ministerio del Medio Ambiente, SEREMI Medio Ambiente	*Propuesta Plan de Adaptación al Cambio Climático para la Región Metropolitana de Santiago de Chile*	Santiago, Chile	Plan de cambio climático	2012
The City and County of San Francisco	*San Francisco Climate Action Plan*	San Francisco, EEUU	Plan de cambio climático	2021
The City and County of San Francisco	*Hazards and Climate Resilience Plan*	San Francisco, EEUU	Plan de cambio climático	2020
World Bank, GFDRR, Global Program on Nature-Based Solutions for Climate Resilience	*A catalogue of Nature Based Solutions for urban reslience*	Organización internacional	Guía de mejores prácticas	2021

Tabla 17. Documentos revisados para la selección de medidas de adaptación. Fuente: elaboración propia.

2. Fichas con medidas de adaptación

Cada medida de adaptación se desarrolló de forma integral en una ficha con múltiples campos de información que permiten caracterizarla. Para ello, se realizó una profundización bibliográfica con el objetivo de informar cada medida. La bibliografía de profundización puede ser revisada en la sección de Referencias al final del documento. Los campos de información son los siguientes:

- **Título:** nombre de la medida de adaptación.
- **Número:** número en orden consecutivo.
- **Amenazas:** amenaza climática que la medida aborda. Siempre considera una amenaza primaria en la que se enfoca la medida. Algunos casos incluyen una amenaza secundaria y terciaria, lo que significa que la medida permite regular, adicionalmente, otras amenazas climáticas. Las amenazas se denotan con un ícono. De izquierda a derecha, estas son:
    - Inundación
    - Ola de calor
    - Sistema frontal
    - Sequía

- **Tipo:** individualiza la tipología de medida. En base a la revisión bibliográfica, las medidas se clasificaron en cinco tipos y en la ficha se indican con un ícono y una abreviación en forma de acrónimo. De izquierda a derecha, estos son:
    - Solución Basada en la Naturaleza (SBN)
    - Programa (PR)
    - Infraestructura (IF)
    - Tecnología (TE)
    - Estándar o Normativa (E/N)

- **Ámbito espacial:** consiste en la escala espacial de aplicación de la medida. Se consideraron cuatro escalas progresivas, las que también se denotan con un ícono y un acrónimo. De izquierda a derecha, los ámbitos espaciales son:
    - Edificaciones (ED): medidas aplicables a edificios de diversos usos (residencial, comercial, oficina u otro)
    - Áreas verdes y espacios públicos (AV/EP): medidas que se aplican en áreas verdes y espacios públicos de la comuna.
    - Tejido urbano (TU): medidas que tienen el potencial de aplicarse de forma extensiva en el territorio comunal.
    - n/a: medidas a las que no aplica una escala espacial.

- **Descripción:** texto entre 50-150 palabras que describe y detalla la medida.

- **Criterios de factibilidad y/o diseño:** indicaciones adicionales relativas a factores necesarios para que la medida sea implementada de forma exitosa y/o características de diseño que son clave para su buen funcionamiento.

- **Funciones:** listado de funciones que cumple la medida respecto de la regulación de la amenaza climática. Se incluyen funciones relativas a la(s) amenaza(s) que aborda y otras.

- **Beneficios:** listado de beneficios específicos que aporta la medida, ya sea en la regulación de la amenaza, para las personas, infraestructuras, edificaciones, el entorno urbano y/o actividades y características del entorno comunal.

- **Indicadores de monitoreo:** indicador(es) que permiten monitorear el progreso hacia el cumplimiento, ejecución o éxito de la medida de adaptación.

- **Evaluación:** consiste en una evaluación cualitativa de la medida en base a tres parámetros: (1) reducción del riesgo, (2) costo y (3) tiempo de implementación. El objetivo es tener un rango de comparación entre medidas que pueda ayudar a priorizar su selección e idoneidad. La evaluación se realizó en base a una rúbrica que se desprende de la investigación. La rúbrica permite asignar un puntaje que va de 1 a 5 en donde a mayor valor, mejor la evaluación en cada parámetro. La rúbrica es la siguiente:

Puntaje	Reducción del riesgo				Costo	Tiempo de implementación
	Inundación	Ola de calor	Sistema frontal	Sequía		
5	Acciones que actúan a escala intercomunal, con alto potencial de reducir el riesgo de inundación.	Alto potencial de reducción de temperaturas a gran escala en el entorno urbano.	Capacidad de reducir el impacto de vientos a escala urbana.	Medidas de reducción de la demanda hídrica por medio de tecnologías e infraestructura.	Sólo requiere costo operacional.	1 año
4	Acciones que actúan a escala urbana, mejorando las condiciones de infiltración y reducción de escorrentía en la ciudad.	Reducción de temperaturas a nivel local (barrio).	Capacidad de reducir el impacto de los vientos en sectores como barrios o calles.	Medidas de reducción de demanda mediante límites o umbrales.	Costo inicial y operacional bajo.	2 a 3 años
3	Acciones que actúan sobre espacios públicos, mejorando su capacidad de infiltración de aguas lluvias.	Provee una alta capacidad adaptativa a la población para mitigar el calor urbano.	Capacidad de reducir el impacto de vientos en infraestructuras puntuales.	Medidas de reutilización o captación de aguas.	Costo inicial y operacional moderado.	5 años
2	Acciones que actúan sobre la propiedad privada y que tienen el potencial de escalar sus impactos.	Provee cierta capacidad adaptativa a la población para mitigar el calor urbano.	Capacidad de reducir el impacto de los vientos en la propiedad privada.	Medidas que permiten monitorear parámetros para la gestión de la sequía.	Alto costo inicial y alto costo operacional.	10 años
1	Acciones puntuales sobre la propiedad privada, pero cuyo escalamiento es difícil.	Mejoras puntuales a la población para mitigar efectos de olas de calor.	Baja capacidad de reducir el impacto de los vientos.	Medidas no vinculantes de reducción de la demanda hídrica.	Muy alto costo inicial y alto costo operacional.	Más de 10 años

Tabla 18. Rúbrica de evaluación para medidas de adaptación. Fuente: elaboración propia.

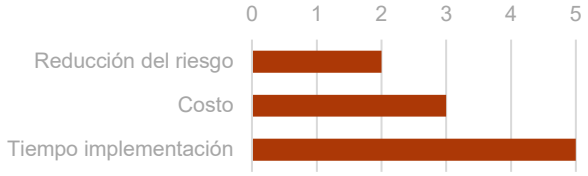
Lorem ipsum dolor sit amet consectetur adipiscing elit nec lorem id mi commodo	00

Amenazas

Tipo IF

Ámbito espacial AV/EP ED

Evaluación



Descripción

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Vestibulum nec lorem id mi commodo porttitor. Praesent faucibus mollis nisi. Duis blandit diam enim, ut mollis ex venenatis et. Etiam vitae magna ut quam tempor lacinia non in urna. Ut velit nulla, vestibulum quis augue id, commodo ornare ante. Quisque nec dignissim orci, in rhoncus lorem. Aenean et nunc ipsum. Ut neque purus, auctor a lacus tincidunt, varius tempus sapien. Sed ut cursus lacus. Sed pretium, sem sit amet viverra malesuada, quam lacus efficitur arcu, in accumsan eros arcu eget felis. Quisque pulvinar mi eget nunc lacinia elementum. Proin fringilla scelerisque.

Figuras de apoyo a la descripción

Figuras de apoyo a la descripción

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit.
- Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit.
- Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. • Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit.	• Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. • Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. • Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. • Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit.	• Praesent faucibus mollis nisi. • Praesent faucibus mollis nisi.

Figura 95. Ficha tipo para medidas de adaptación. Fuente: elaboración propia.

Nota: las fichas son un valor agregado del estudio, ya que son un producto que no estaba considerado en la metodología original.

3. Medidas de adaptación

La revisión bibliográfica permitió seleccionar y detallar un conjunto de 47 medidas de adaptación que actúan sobre las cuatro amenazas climáticas que son foco del estudio. Al analizar el número de medidas por amenaza primaria, un 57% aborda olas de calor, 21% eventos de sequía, 17% inundaciones y un 4% aborda la amenaza de sistema frontal. Si se contabilizan en conjunto la amenaza primaria, secundaria y terciaria, los porcentajes son 45% ola de calor, 25% sequía, 15% adaptación y 14% sistema frontal. En cuanto a los tipos, estos se distribuyen de forma homogénea (15-19%), siendo ligeramente mayor el tipo “programa” (28%). Respecto del ámbito espacial de aplicación de la medida, el 49% es aplicable en el tejido urbano, un 21% en áreas verdes y espacios públicos y un 21% en edificaciones. El 9% de las medidas no posee un ámbito espacial de aplicación.

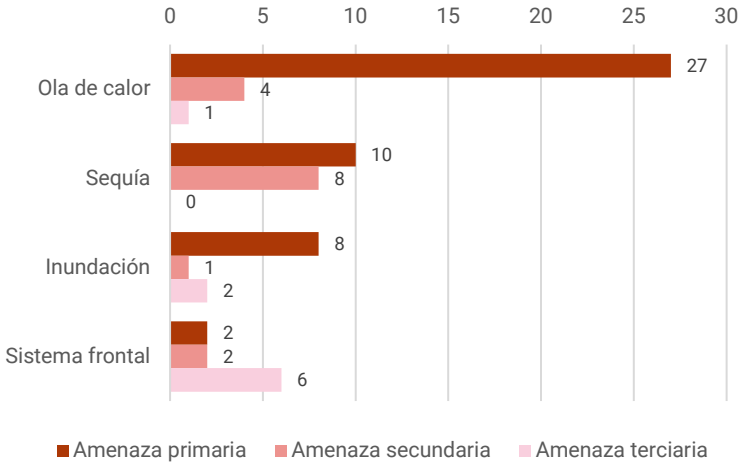


Figura 96. Medidas de adaptación según amenaza primaria, secundaria y terciaria. Fuente: elaboración propia.

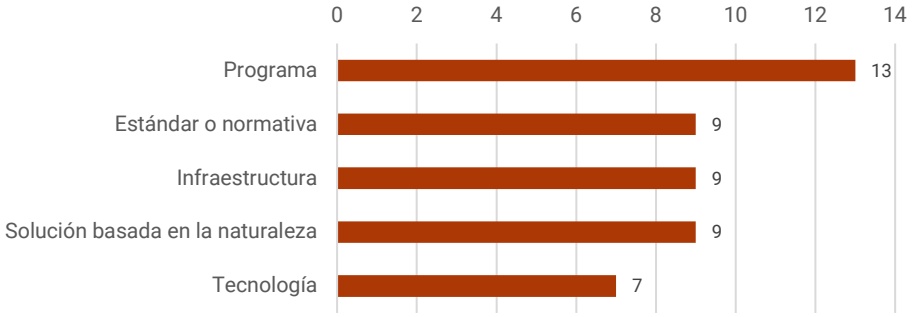


Figura 97. Medidas de adaptación según tipo. Fuente: elaboración propia.

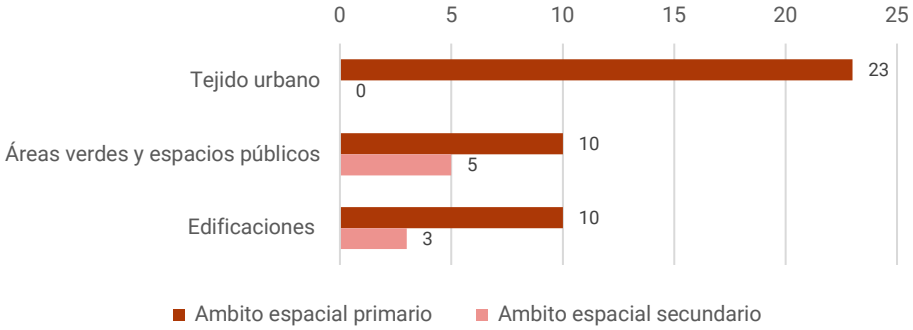


Figura 98. Medidas de adaptación según ámbito espacial. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se provee el listado de medidas de adaptación seleccionadas para el estudio, incluyendo el título de la medida, tipo, ámbito espacial primario y secundario, amenaza primaria, secundaria y terciaria y los puntajes para los tres parámetros comparativos de evaluación. Las fichas con el detalle de cada medida pueden ser revisadas en los anexos del estudio.

Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
1. Zanjas de infiltración con vegetación (Bioswales)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Inundación	Sequía	Sistema frontal	4	4	5
2. Jardines de bioretención o jardines de lluvia (Bioretention, Raingardens)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos	Edificaciones	Inundación	Sequía	Sistema frontal	3	4	5
3. Jardineras de aguas lluvias (Stormwater Planter)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Inundación	Sequía	Sistema frontal	4	3	5
4. Techos verdes (Green Roofs)	Solución basada en la naturaleza	Edificaciones		Inundación	Ola de calor		1	1	4
5. Área mínima de vegetación (AMV) para nuevos desarrollos (Green Area Ratio – GAR)	Estándar o normativa	Edificaciones		Inundación	Sequía	Ola de Calor	2	3	5
6. Pavimentos permeables	Infraestructura	Áreas verdes y espacios públicos	Edificaciones	Inundación	Sequía	Sistema frontal	2	3	5
7. Sistemas de infiltración subterránea	Infraestructura	Tejido urbano		Inundación	Sequía	Sistema frontal	4	2	4
8. Renaturalización de ribera y lecho de río	Solución basada en la naturaleza	Tejido urbano	Áreas verdes y espacios públicos	Inundación	Ola de calor		5	1	2
9. Arborización urbana priorizada	Solución basada en la naturaleza	Tejido urbano	Áreas verdes y espacios públicos	Ola de calor	Sistema frontal		5	3	4
10. Techos fríos (Cool Roofs)	Tecnología	Edificaciones		Ola de calor			5	4	1
11. Pavimentos fríos (Cool Pavements)	Tecnología	Tejido urbano		Ola de calor			5	1	4
12. Enfriamiento evaporativo mediante fuentes de agua recreativas	Infraestructura	Áreas verdes y espacios públicos		Ola de calor			2	3	4
13. Planificación de sombras estructurales	Infraestructura	Áreas verdes y espacios públicos		Ola de calor			4	3	5
14. Planificación de sombras naturales	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Ola de calor			4	3	4
15. Enfriamiento pasivo en edificaciones	Estándar o normativa	Edificaciones		Ola de calor			2	4	4
16. Enfriamiento activo en edificaciones	Estándar o normativa	Edificaciones		Ola de calor			3	2	4
17. Puntos de hidratación	Infraestructura	Áreas verdes y espacios públicos		Ola de calor			3	4	5
18. Reducción del uso del automóvil particular	Programa	Tejido urbano		Ola de calor			5	5	4

Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
19. Acuerdos voluntarios para modificar horario laboral	Programa	Tejido urbano		Ola de calor			3	5	5
20. Plan de acción para ocupaciones al aire libre durante olas de calor	Programa	Tejido urbano		Ola de calor			3	4	5
21. Ordenanza de temperatura máxima al interior de viviendas	Estándar o normativa	Edificaciones		Ola de calor			3	2	2
22. Refugios climáticos (Climate Shelters, Cooling Centers)	Infraestructura	Tejido urbano		Ola de calor			4	2	4
23. Refugios climáticos temporales (Pop-up Heat Relief)	Infraestructura	Tejido urbano		Ola de calor			3	4	5
24. Sistema de alerta temprana para temperaturas extremas y olas de calor	Tecnología	Tejido urbano		Ola de calor			2	1	3
25. Incentivar la arborización en predios privados	Programa	Tejido urbano		Ola de calor			4	4	5
26. Protección de árboles durante faenas de construcción	Estándar o normativa	Tejido urbano		Ola de calor	Sequía	Sistema frontal	4	5	5
27. Coordinación de medidas de arborización y paisajismo con viveros locales	Programa	Tejido urbano	Áreas verdes y espacios públicos	Ola de calor	Sequía	Inundación	4	5	4
28. Reacondicionamiento de edificios para el confort térmico	Programa	Edificaciones		Ola de calor			3	2	4
29. Monitoreo de la percepción del riesgo frente a olas de calor	Programa			Ola de calor			3	5	5
30. Programa de concientización para olas de calor	Programa			Ola de calor			3	4	5
31. Plazas de bolsillo optimizadas como área verde de alta cobertura arbórea	Solución basada en la naturaleza	Tejido urbano	Áreas verdes y espacios públicos	Ola de calor			4	3	4
32. Paraderos optimizados para el calor	Infraestructura	Tejido urbano		Ola de calor			3	2	4
33. Área mínima de sombra (Shade Factor)	Estándar o normativa	Tejido urbano		Ola de calor			4	4	4
34. Incentivar la conservación de masas boscosas en terrenos privados	Programa	Tejido urbano		Ola de calor			4	5	5
35. Conservación de corredores fríos y de ventilación	Solución basada en la naturaleza	Tejido urbano		Ola de calor	Sistema frontal		5	5	5
36. Reutilización de aguas grises en nuevos desarrollos	Tecnología	Edificaciones		Sequía			3	1	3
37. Directrices para el diseño de proyectos de paisajismo	Estándar o normativa	Tejido urbano	Áreas verdes y espacios públicos	Sequía	Ola de calor	Inundación	4	5	5

Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
adaptados al cambio climático (Climate-Proof Garden)									
38. Recolección de aguas lluvias	Infraestructura	Edificaciones		Sequía	Inundación		3	1	3
39. Programas de concientización para la gestión hídrica domiciliaria	Programa			Sequía			1	4	5
40. Manejo optimizado del riego de áreas verdes por parte de vecinos	Estándar o normativa	Áreas verdes y espacios públicos		Sequía	Ola de calor		4	5	5
41. Monitoreo y detección de fugas en la red de agua potable	Tecnología	Tejido urbano		Sequía			2	1	3
42. Monitoreo del nivel freático y evapotranspiración	Tecnología	Tejido urbano		Sequía			2	1	3
43. Artefactos sanitarios de bajo consumo	Programa	Edificaciones		Sequía			5	1	4
44. Implementar sistemas de telegestión para riego de áreas verdes	Tecnología	Áreas verdes y espacios públicos		Sequía			2	2	4
45. Incentivar la gestión del recurso hídrico en el sector privado	Programa			Sequía			1	5	5
46. Propiciar alturas máximas proporcional al ancho de calle	Estándar o normativa	Tejido urbano		Sistema frontal			5	5	1
47. Podar o quitar árboles y ramas muertas, dañadas o podridas	Programa	Tejido urbano		Sistema frontal			4	5	5

Tabla 19. Tabla con medidas de adaptación. Fuente: elaboración propia.

III. PERFILES DE RIESGO POR UNIDAD VECINAL

1. Estructura del perfil de riesgo

La Unidad Vecinal (UV) representa un área de agregación espacial adecuada para un análisis detallado de los resultados del índice de riesgo y sus componentes. En análisis a escala subcomunal tiene como objetivo distinguir los parámetros que conforman el riesgo en un área determinada y con ello construir un perfil que permita informar la selección de medidas de adaptación apropiadas.

El perfil de cada UV se presenta en una ficha y está compuesto por un resumen de los principales índices y variables que se han desarrollado a través del estudio:

Caracterización geográfica y estadística:

- Estadísticas sobre amenaza y exposición.
- Ranking de UVs según porcentaje de zona homogénea de riesgo alta y muy alta.
- Mapa con áreas prioritarias para la gestión del riesgo.
- Gráfico con el porcentaje de superficie de UV según zona homogénea de riesgo.
- Gráfico con el porcentaje de superficie de UV como área prioritaria.
- Gráfico de vulnerabilidad por dimensión.
- Gráfico de vulnerabilidad por componente[16].

Análisis descriptivo y de diagnóstico:

- **Descriptivo:** describe el comportamiento del riesgo y sus componentes –magnitudes y patrones– a nivel geográfico en la UV.
- **Diagnóstico:** evalúa cuán intenso es el riesgo en cada UV relativo al resto de la comuna y se discute el rol de los componentes (amenaza, exposición y/o vulnerabilidad) en el nivel del riesgo observado.

Prescripción de medidas de adaptación:

- Para la selección de medidas se considera comportamiento del riesgo a escala de UV, la expresión del riesgo a escala comunal y las condiciones de borde con otras UV, así como otros factores descritos en el punto 2.
- Para cada UV se recomiendan un máximo de cinco medidas de adaptación, las que pueden repetirse en otras UV en la medida que existe continuidad espacial de las condiciones de riesgo, amenaza, exposición y/o vulnerabilidad.
- Las medidas se integran en una tabla con la siguiente información: título de la medida, tipo, ámbito espacial primario y secundario, amenaza primaria, secundaria y terciaria y los puntajes para los tres parámetros comparativos de evaluación
- Se advierte que las medidas seleccionadas para cada UV deben ser vistas como puntos de partida para una priorización final por parte de la Municipalidad, en base a criterios de factibilidad de implementación técnica y normativa.

Con esta información, es posible conceptualizar cada UV como una unidad de gestión en la que los resultados del riesgo climático informan medidas para abordarlo y, con ello, transitar hacia la construcción de resiliencia comunal.

[16] Los valores presentados en los gráficos corresponden al promedio de todos los valores de vulnerabilidad por componente al interior de cada UV. Es decir, los datos han sido agregados según la escala de la UV. Por ello, representan una simplificación del indicador geográfico asociado al componente que fue utilizado para construir el índice general de vulnerabilidad. Así, esta información debe interpretarse como un insumo complementario. La misma situación aplica para los gráficos por dimensión.

2. Criterios utilizados para la recomendación de medidas de adaptación

La evaluación del riesgo climático en la comuna presenta patrones de aglomeración en sus valores altos y bajos, influidos directamente por las variaciones espaciales que muestran tanto amenazas como la exposición o los componentes de vulnerabilidad, además de cada una de las variables consideradas en estos indicadores. Estas variaciones quedan de manifiesto en el perfil de riesgo de cada una de las 16 unidades vecinales de la comuna. Lo anterior permite, por un lado, analizar local e individualmente la situación de riesgo relativa entre unidades vecinales, y a la vez identificar las causas probables que a nivel local explican estos niveles de riesgo.

Considerando lo anterior, el análisis detallado en cada unidad vecinal permitió identificar dimensiones, componentes y/o variables (de amenaza, exposición y/o vulnerabilidad) que influyeron en los valores de riesgo, y las áreas específicas dentro de las unidades, donde se concentraron estos valores.

Las medidas seleccionadas fueron evaluadas y seleccionadas bajo los criterios generales en materia de costo-eficiencia, reducción del riesgo y su compatibilidad con los usos existentes y estructura urbana. En este sentido, las cinco medidas de adaptación seleccionadas para cada unidad vecinal consideran las amenazas climáticas presentes a nivel local y buscan mejorar las variables críticas y condiciones de vulnerabilidad. Además, se consideraron los siguientes factores para la selección de medidas:

1. **Gestión:** Acciones que permitan mejorar las condiciones de resiliencia, eficiencia o regulación en la unidad vecinal, en forma de programas, criterios de manejo eficiente de recursos, definición de estándares normativos y vinculación con capacidades instaladas en el tejido urbano.

2. **Optimización de la situación actual:** Acciones que permiten nivelar condiciones hacia valores aceptables y concordantes con las unidades mejor posicionadas en la comuna, estas en forma de modificaciones a las condiciones naturales del espacio urbano como áreas verdes y otros espacios públicos, basadas en servicios ambientales naturales.

3. **Mejoramiento:** Acciones que modifiquen el funcionamiento actual de espacios públicos, edificaciones y sistemas de manejo de recursos, mediante monitoreo, información para la toma de decisiones y aumento de la eficiencia en base a la incorporación de tecnología.

4. **Innovación y desarrollo:** Acciones que permitan el desarrollo de nueva infraestructura, equipamiento y espacios, o modifiquen sustantivamente el desempeño de los ya existentes, mediante inversión e innovación en materiales permeables, aislantes, colectores, entre otros, o que aumenten la provisión de áreas verdes que provean servicios ambientales.

5. **Urgencia local:** Acciones que, en concordancia con los criterios anteriores, atiendan aspectos particularmente críticos en la unidad vecinal respectiva, de manera de proveer soluciones a los problemas específicos a nivel local.

Se reitera que las medidas seleccionadas por unidad vecinal corresponden a una recomendación basada únicamente en una problematización de los factores descritos. En este sentido, la recomendación es una posibilidad dentro de muchas, dado que existen medidas que pueden cumplir la misma función respecto de la reducción del riesgo. Otros factores como la factibilidad de implementación técnica, financiera y/o normativa se escapan del alcance de este estudio. No obstante, se recomienda que sean considerados por la Municipalidad a la hora de planificar la implementación de acciones, ya sea mediante incentivos en el Plan Regulador Comunal u otros planes y programas.

a. Síntesis estadística de las medidas recomendadas

El tipo de medida recomendada más frecuente a nivel comunal son las soluciones basadas en la naturaleza (29%), tipología presente en la mayor parte de las unidades vecinales, con excepción de la UV2, en la que predomina la tipología "estándar o normativa", y las unidades vecinales N°4, 11, 14 y 16, con una marcada orientación hacia medidas en Infraestructura. Las medidas de tipo "Estándar o normativa", "Tecnología" e "Infraestructura", rondan el 20% a nivel comunal, y se distribuyen heterogéneamente en el territorio. La tipología con menor representación corresponde a "Programa", con solo el 10% de las recomendaciones. La distribución del tipo de medida por unidad vecinal se aprecia en el gráfico a continuación:

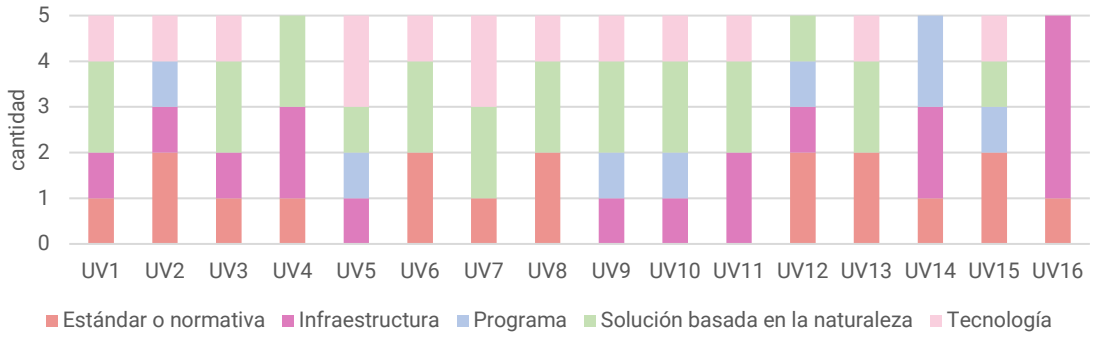


Figura 99. Perfil del tipo de medida recomendada según unidad vecinal. Fuente: elaboración propia.

Con respecto al ámbito espacial primario de aplicación de las medidas, a nivel comunal estas se concentran hacia intervenciones en áreas verdes y espacios públicos (47%), presentes en casi todo el territorio comunal con la excepción de la unidad vecinal N° 2, orientada fuertemente hacia el tejido urbano, ámbito espacial que corresponde al 30% de las medidas recomendadas. Las medidas que apuntan hacia su aplicación en edificaciones representan el 23% del total y abarcan 11 unidades vecinales. La distribución del ámbito espacial primario de las medidas puede observarse en el siguiente gráfico:

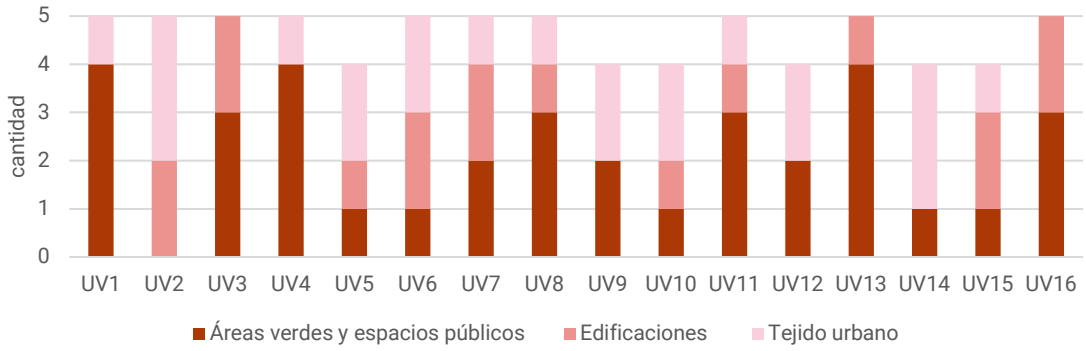


Figura 100. Ámbito espacial primario de las medidas recomendadas. Fuente: elaboración propia.

En general, las medidas recomendadas apuntan a disminuir el riesgo ante diversas amenazas. Lo anterior es posible debido a que las medidas de adaptación investigadas tienen la capacidad de reducir el riesgo frente a múltiples amenazas a la vez. Dada la naturaleza espacial de los eventos climáticos extremos y las características de la comuna, la amenaza con mayor representatividad en las medidas recomendadas es la sequía, seguido de ola de calor, inundaciones y por último sistema frontal, como se observa en la tabla de la página siguiente.

UV	Amenazas			
	Inundación	Sequía	Sistema frontal	Ola de calor
UV1	x	x	x	x
UV2	x	x		x
UV3	x	x	x	x
UV4	x	x	x	x
UV5	x	x		x
UV6	x	x		x
UV7	x	x	x	x
UV8	x	x	x	x
UV9	x	x	x	x
UV10	x	x	x	x
UV11	x	x	x	
UV12	x	x	x	x
UV13	x	x	x	x
UV14		x		x
UV15	x	x	x	x
UV16	x	x	x	x

Tabla 20. Amenazas abordadas por las medidas de adaptación recomendadas en cada UV. Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la capacidad de reducción de riesgo de las medidas, se observa que existen diversos niveles. Como se indica en el sección II, la capacidad de reducción de riesgo se evaluó para cada medida y consiste en una escala numérica de 1 a 5 en donde a mayor valor, mayor capacidad de reducir el riesgo. Al examinar las medidas recomendadas, se observa que las UV6 y 7 destacan por presentar medidas con nivel 5 (máximo) de reducción de riesgo, mientras que las demás unidades vecinales se caracterizan por presentar un equilibrio en relación a este indicador.

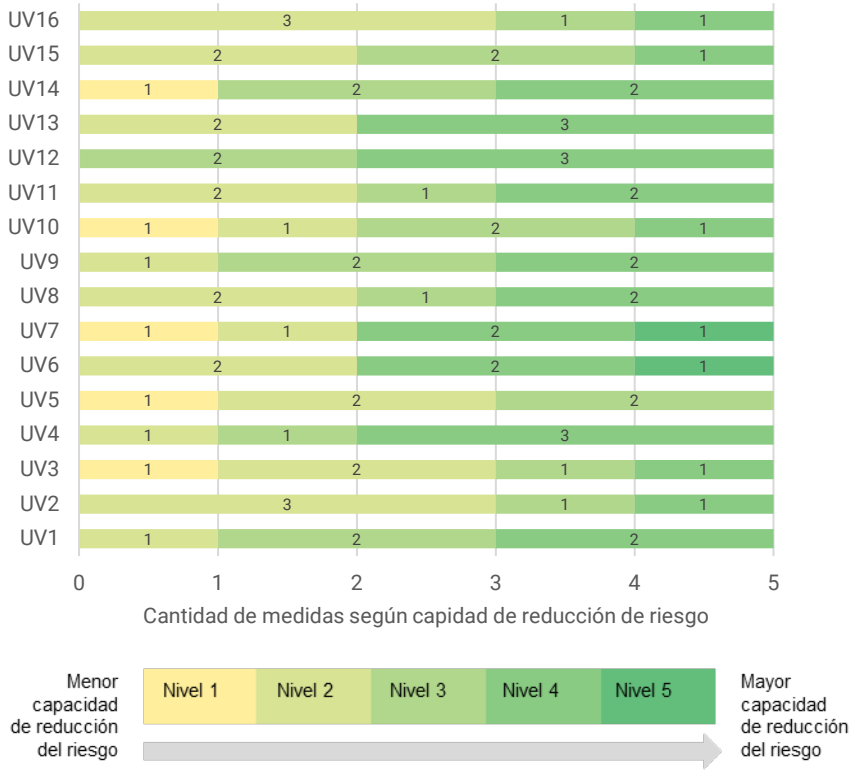


Figura 101. Cantidad de medidas según capacidad de reducción de riesgo. La escala de colores indica el nivel de reducción del riesgo. Las etiquetas numéricas en las barras indican la cantidad de medidas en cada nivel. Fuente: elaboración propia.

3. Medidas recomendadas a escala comunal

Como un complemento a las medidas de adaptación recomendadas por unidad vecinal, se señalan las medidas priorizadas para ser implementadas a escala comunal. Estas medidas siguen los mismos criterios utilizados en la selección local, pero se consideran estratégicas desde el punto de vista de construcción de resiliencia, ya que su efectividad será mayor si se aplican en forma sistemática e integrada en toda la comuna.

Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
3. Jardineras de aguas lluvias (Stormwater Planter)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Inundación	Sequía	Sistema frontal	4	3	5
5. Área mínima de vegetación (AMV) para nuevos desarrollos (Green Area Ratio – GAR)	Estándar o normativa	Edificaciones		Inundación	Sequía	Ola de Calor	2	3	5
9. Arborización urbana priorizada	Solución basada en la naturaleza	Tejido urbano	Áreas verdes y espacios públicos	Ola de calor	Sistema frontal		5	3	4
10. Techos fríos (Cool Roofs)	Tecnología	Edificaciones		Ola de calor			5	4	1
13. Planificación de sombras estructurales	Infraestructura	Áreas verdes y espacios públicos		Ola de calor			4	3	5
14. Planificación de sombras naturales	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Ola de calor			4	3	4
18. Reducción del uso del automóvil particular	Programa	Tejido urbano		Ola de calor			5	5	4
20. Plan de acción para ocupaciones al aire libre durante olas de calor	Programa	Tejido urbano		Ola de calor			3	4	5
21. Ordenanza de temperatura máxima al interior de viviendas	Estándar o normativa	Edificaciones		Ola de calor			3	2	2
22. Refugios climáticos (Climate Shelters, Cooling Centers)	Infraestructura	Tejido urbano		Ola de calor			4	2	4
24. Sistema de alerta temprana para temperaturas extremas y olas de calor	Tecnología	Tejido urbano		Ola de calor			2	1	3
26. Protección de árboles durante faenas de construcción	Estándar o normativa	Tejido urbano		Ola de calor	Sequía	Sistema frontal	4	5	5
37. Coordinación de medidas de arborización y paisajismo con viveros locales	Programa	Tejido urbano	Áreas verdes y espacios públicos	Ola de calor	Sequía	Inundación	4	5	4
29. Monitoreo de la percepción del riesgo frente a olas de calor	Programa			Ola de calor			3	5	5
30. Programa de concientización para olas de calor	Programa			Ola de calor			3	4	5
33. Área mínima de sombra (Shade Factor)	Estándar o normativa	Tejido urbano		Ola de calor			4	4	4
34. Incentivar la conservación de masas boscosas en terrenos privados	Programa	Tejido urbano		Ola de calor			4	5	5

Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
35. Conservación de corredores fríos y de ventilación	Solución basada en la naturaleza	Tejido urbano		Ola de calor	Sistema frontal		5	5	5
41. Monitoreo y detección de fugas en la red de agua potable	Tecnología	Tejido urbano		Sequía			2	1	3
42. Monitoreo del nivel freático y evapotranspiración	Tecnología	Tejido urbano		Sequía			2	1	3
45. Incentivar la gestión del recurso hídrico en el sector privado	Programa			Sequía			1	5	5

Tabla 21. Medidas de adaptación priorizadas para ser implementadas a escala comunal. Fuente: elaboración propia.

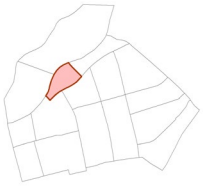
4. Fichas con perfil de riesgo por unidad vecinal

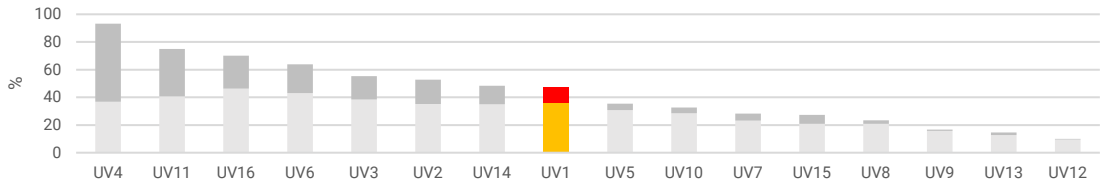
En las páginas siguientes se desarrollan los perfiles para las 16 Unidades Vecinales de la comuna de Providencia. Cada perfil se presenta en dos páginas, por lo que se recomienda visualizar la información en paralelo para interpretar de mejor manera la información.

Unidad Vecinal N°1

UV1

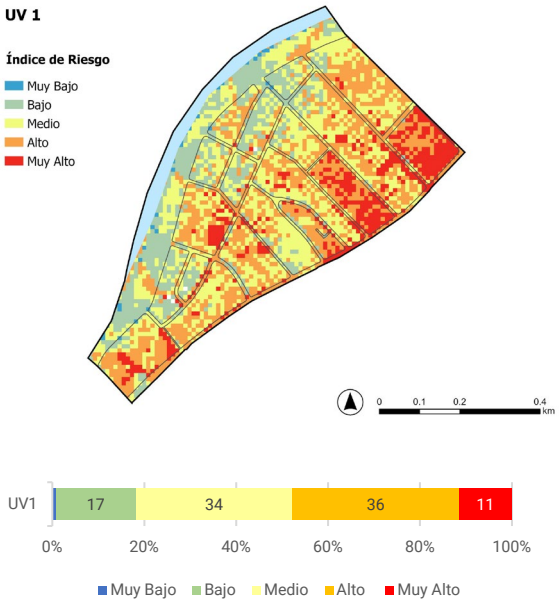
Juntas de vecinos	• Inactiva: Junta Pérez Valenzuela
Área	• 40,8 ha
Amenaza muy alta	• 4,3 ha (10,5%)
Exposición muy alta	• 11 ha (26,9%)
Riesgo muy alto	• 4,7 ha (11,5%)



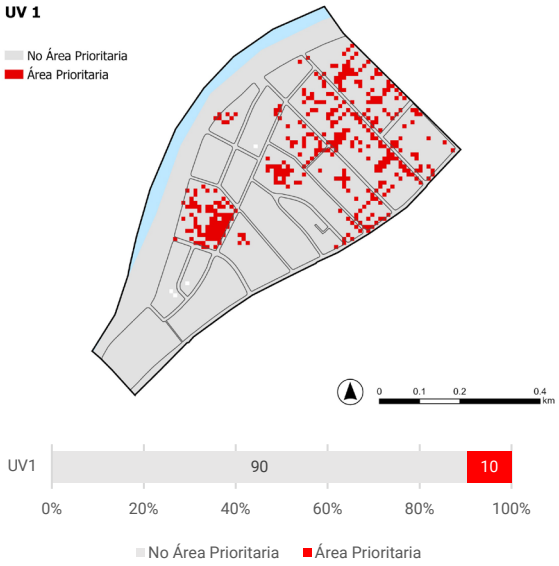


Comparativo: superficie de UV con riesgo **Alto** y **Muy Alto**

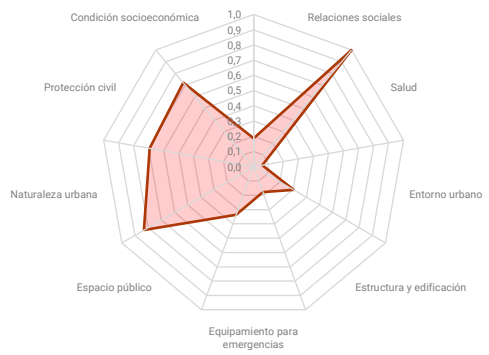
Zonas homogéneas de riesgo



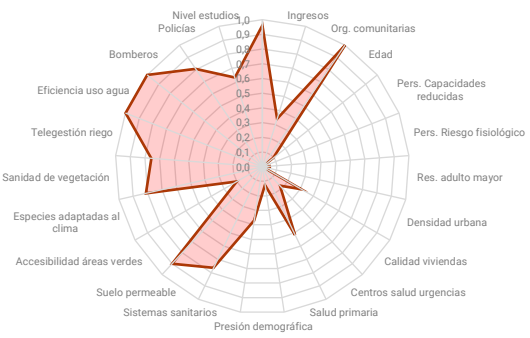
Áreas prioritarias



Vulnerabilidad por dimensión



Vulnerabilidad por componente



Perfil de riesgo

La unidad vecinal N°1 presenta un 47% de superficie en riesgo Alto o Muy Alto. Destaca también con un alto porcentaje de su superficie amenazada por inundación (12,3%). La alta concentración de oficinas y edificios comerciales define esta zona como un polo laboral en la ciudad, reflejado en una alta disponibilidad de servicios y conectividad a nivel metropolitano (Andrés Bello, Providencia, Metro, Autopista Costanera Norte, Santa María).

Sin embargo, esta UV presenta condiciones de vulnerabilidad en materia de Relaciones Sociales y Espacios Públicos, dos aspectos de gran importancia para la población local, pero contrapuestos a la vocación económico-productiva dominante en la unidad vecinal. En este sentido, se puede señalar que en torno a un 30% de la superficie de la UV no cuenta con buena accesibilidad a bebederos públicos o a áreas verdes, lo que sumado a la inactividad de su junta de vecinos implica una potencial baja capacidad de respuesta local ante eventos climáticos extremos.

La alta densidad urbana observable tanto en espacios públicos como privados influye en una mayor vulnerabilidad en cuanto a naturaleza urbana, reflejado principalmente en una mayor presión sobre la sanidad de la vegetación y una menor disponibilidad relativa de suelos permeables, que representan sólo un 10% del total de superficie en la UV. En cuanto a eficiencia del recurso hídrico, no existen activaciones del programa jardines sustentables, y la plaza Arturo Pratt, ubicada en el extremo sur-poniente de la UV es la única área verde que cuenta con sistema de telegestión.

Medidas de adaptación recomendadas

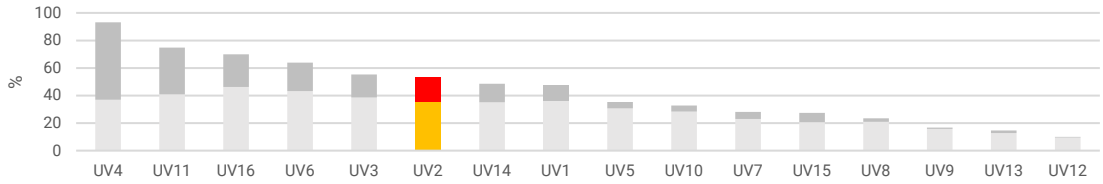
Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
Zanjas de infiltración con vegetación (Bioswales)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Inundación	Sequía	Sistema frontal	4	4	5
Jardines de bioretención o jardines de lluvia (Bioretention, Raingardens)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos	Edificaciones	Inundación	Sequía	Sistema frontal	3	4	5
Refugios climáticos temporales (Pop-up Heat Relief)	Infraestructura	Tejido urbano		Ola de calor			3	4	5
Implementar sistemas de telegestión para riego de áreas verdes	Tecnología	Áreas verdes y espacios públicos		Sequía			2	2	4
Manejo optimizado del riego de áreas verdes por parte de vecinos	Estándar o normativa	Áreas verdes y espacios públicos		Sequía	Ola de calor		4	5	5

Tabla 22. Perfil de riesgo UV 1. Fuente: elaboración propia.

Unidad Vecinal N°2

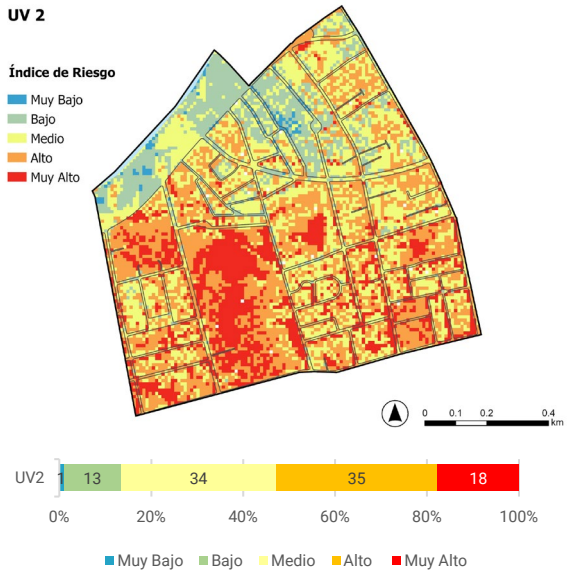
UV2

Juntas de vecinos	• Activa: Junta N°2 B • Inactivas: Juntas El Salvador y Miguel Claro
Área	• 101,3 ha
Amenaza muy alta	• 18,9 ha (18,7%)
Exposición muy alta	• 18,3 ha (18%)
Riesgo muy alto	• 17,9 ha (17,7%)

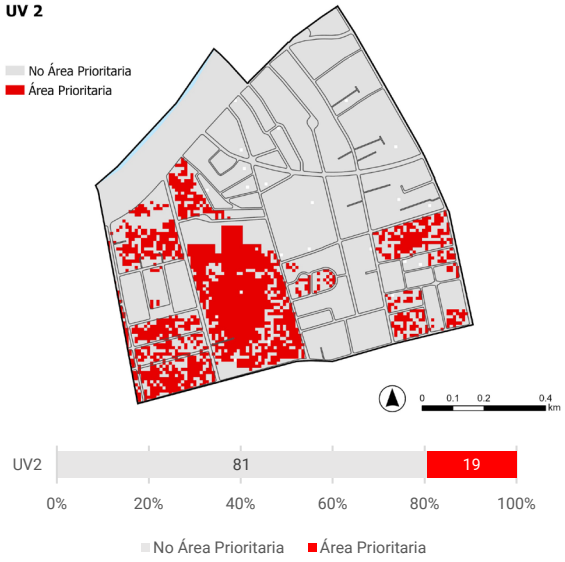


Comparativo: superficie de UV con riesgo **Alto** y **Muy Alto**

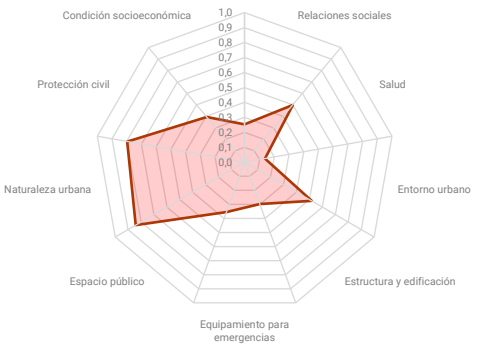
Zonas homogéneas de riesgo



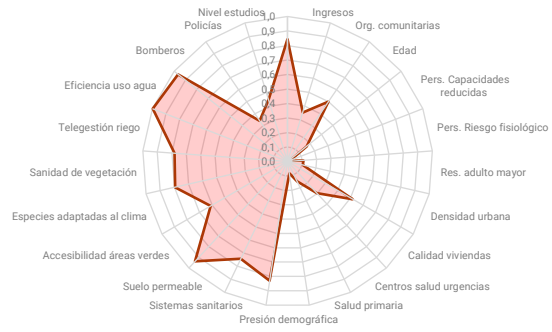
Áreas prioritarias



Vulnerabilidad por dimensión



Vulnerabilidad por componente



Perfil de riesgo

La unidad vecinal N°2 presenta un 53% de su superficie en riesgo Alto o Muy Alto. Esta unidad registró temperaturas máximas superficiales sobre los 40°C durante eventos de olas de calor.

La presencia del Hospital del Salvador que aporta una extensa y continua área con altos valores de vulnerabilidad relacionados a su función crítica y a la concentración de población flotante, fundamentalmente para consultas y atenciones médicas, visitas de familiares, personal de salud y comercio asociado a estas actividades. Las áreas con mayor densidad urbana pueden favorecer la retención del calor y se concentran en el sector norte de la unidad vecinal, paralela a calle Providencia. Además, existe una concentración de viviendas con materialidad recuperable en las zonas adyacentes al hospital, lo que puede presentar una mayor sensibilidad ante eventos meteorológicos extremos.

Por otra parte, esta unidad vecinal presenta vulnerabilidad asociada a la dimensión naturaleza urbana, con sólo un 6,3% de superficies permeables con respecto a la superficie total en la unidad, lo que, sumado a baja presencia de áreas con telegestión del riego y sólo una intervención de jardines sustentables (Román Díaz), supone un obstáculo para la gestión del recurso hídrico. Esta situación puede verse potencialmente explicada por la ausencia de parques y área verdes de mayor tamaño, ya que sólo un 21% de la superficie de la UV cuenta con buena accesibilidad a áreas verdes. La ausencia de suelos permeables disminuye la disponibilidad de agua para la vegetación, profundizando el nivel freático a la vez que aumenta la escorrentía superficial. En última instancia la suma de estos factores vuelve dependiente a la vegetación urbana del riego artificial, lo que ya presenta altos valores de vulnerabilidad en esta área.

Medidas de adaptación recomendadas

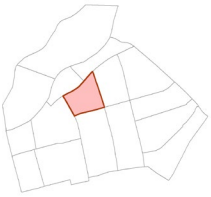
Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
Refugios climáticos (Climate Shelters, Cooling Centers)	Infraestructura	Tejido urbano		Ola de calor			4	2	4
Sistema de alerta temprana para temperaturas extremas y olas de calor	Tecnología	Tejido urbano		Ola de calor			2	1	3
Plan de acción para ocupaciones al aire libre durante olas de calor	Programa	Tejido urbano		Ola de calor			3	4	5
Enfriamiento pasivo en edificaciones	Estándar o normativa	Edificaciones		Ola de calor			2	4	4
Área mínima de vegetación (AMV) para nuevos desarrollos (Green Area Ratio – GAR)	Estándar o normativa	Edificaciones		Inundación	Sequía	Ola de Calor	2	3	5

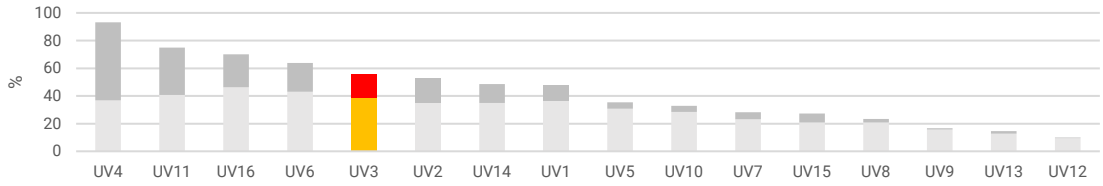
Tabla 23. Perfil de riesgo UV 2. Fuente: elaboración propia.

Unidad Vecinal N°3

UV3

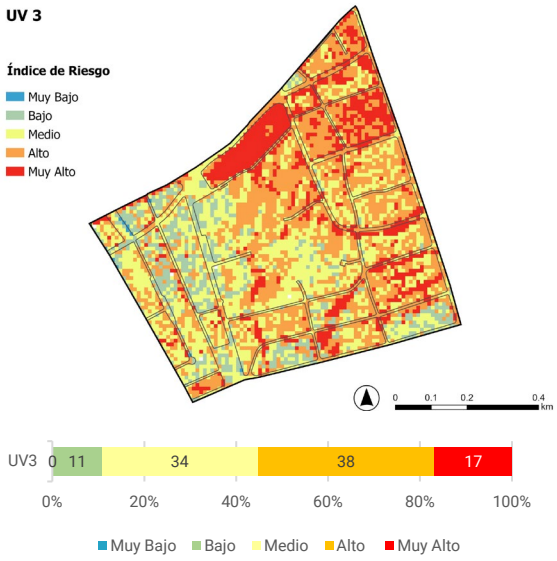
Juntas de vecinos	• Activa: Junta Plaza Jacarandá • Inactiva: Junta Unidad Vecinal Providencia
Área	• 57,2 ha
Amenaza muy alta	• 5,8 ha (10,1%)
Exposición muy alta	• 36,6 ha (63,9%)
Riesgo muy alto	• 9,6 ha (16,8%)





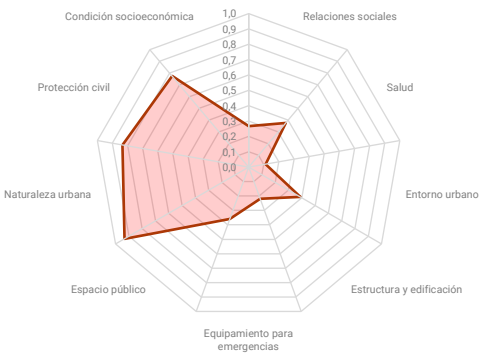
Comparativo: superficie de UV con riesgo **Alto** y **Muy Alto**

Zonas homogéneas de riesgo

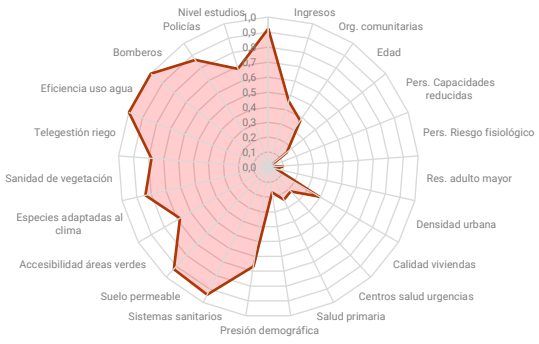


Áreas prioritarias

Vulnerabilidad por dimensión



Vulnerabilidad por componente



Perfil de riesgo

La Unidad vecinal N°3 presenta un 55% de su superficie con niveles de riesgo Alto o Muy Alto. Ubicada en el centro de la comuna y contigua a calle Nueva Providencia, esta unidad vecinal se ve directamente influida por la presión demográfica dada por un alto flujo de población flotante, atraída por la actividad comercial y polos laborales circundantes. Esto puede relacionarse con la alta densidad urbana en el sector nororiente de la unidad vecinal, en los alrededores de la Estación Metro Pedro de Valdivia y la intersección de la calle homónima con calle Providencia.

Esta unidad vecinal presenta mayor vulnerabilidad en cuanto a servicios sanitarios públicos, con sólo un 20% de la superficie con accesibilidad a bebederos públicos, lo que puede ser crítico en episodios de olas de calor sobre todo en el sector central de la UV. Con respecto al estado de viviendas, en general es buena, sin embargo, en el extremo surponiente existe una concentración de viviendas que pueden ser susceptibles ante eventos climáticos extremos, debido a una mayor presencia de viviendas con materialidad recuperable con respecto al resto de la UV.

En cuanto a naturaleza urbana, esta unidad vecinal no cuenta con activaciones de jardines sustentables y sólo cuenta con telegestión de riego en la plaza Juan XXIII, en la zona norte de la UV. Además, un 14% de superficie presenta buena accesibilidad a áreas verdes y sólo un 7,4% de la superficie cuenta con suelo permeable.

Medidas de adaptación recomendadas

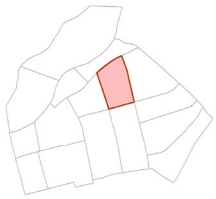
Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
Puntos de hidratación	Infraestructura	Áreas verdes y espacios públicos		Ola de calor			3	4	5
Implementar sistemas de telegestión para riego de áreas verdes	Tecnología	Áreas verdes y espacios públicos		Sequía			2	2	4
Jardineras de aguas lluvias (Stormwater Planter)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Inundación	Sequía	Sistema frontal	4	3	5
Techos verdes (Green Roofs)	Solución basada en la naturaleza	Edificaciones		Inundación	Ola de calor		1	1	4
Área mínima de vegetación (AMV) para nuevos desarrollos (Green Area Ratio – GAR)	Estándar o normativa	Edificaciones		Inundación	Sequía	Ola de Calor	2	3	5

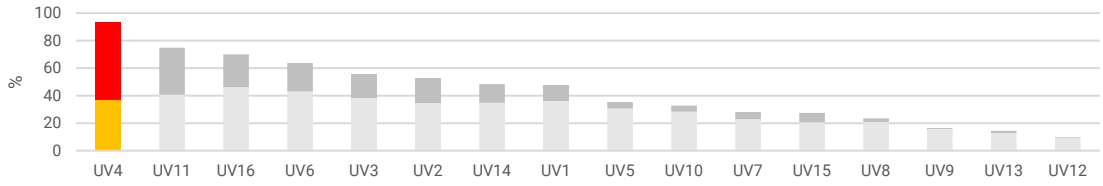
Tabla 24. Perfil de riesgo UV 3. Fuente: elaboración propia.

Unidad Vecinal N°4

UV4

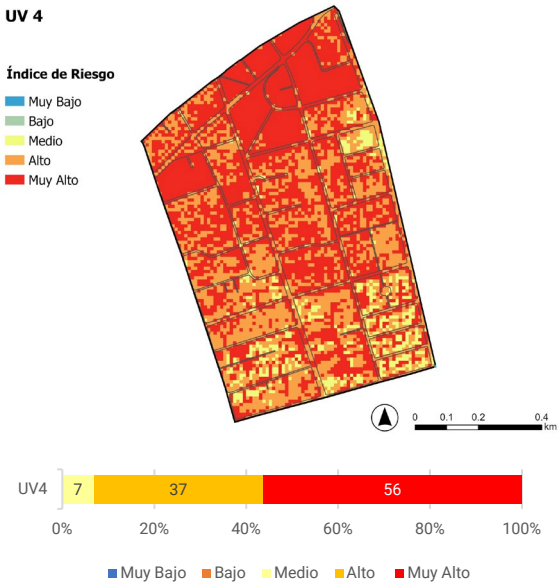
Juntas de vecinos	• Inactivas: Juntas Carlos Antúnez y Las Palmas
Área	• 72,7 ha
Amenaza muy alta	• 3,9 ha (5,3%)
Exposición muy alta	• 35,6 ha (48,9%)
Riesgo muy alto	• 40,9 ha (56,3%)





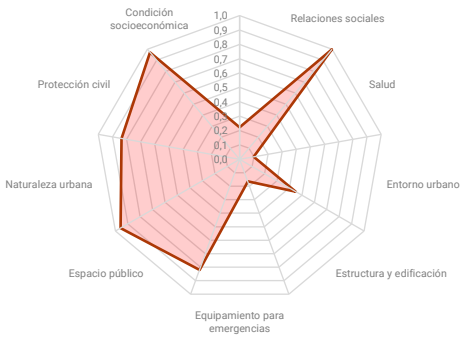
Comparativo: superficie de UV con riesgo **Alto** y **Muy Alto**

Zonas homogéneas de riesgo

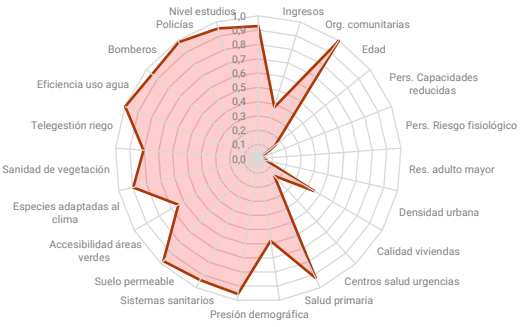


Áreas prioritarias

Vulnerabilidad por dimensión



Vulnerabilidad por componente



Perfil de riesgo

La unidad vecinal N°4 concentra los niveles más altos de riesgo en todo el territorio comunal, llegando a 56% de su superficie con riesgo Muy Alto y 37% con riesgo Alto, dejando sólo un 7% de superficie con nivel de riesgo Medio.

Los componentes de vulnerabilidad que pueden parcialmente explicar estos altos valores tienen relación con la inactividad de organizaciones comunitarias, lo cual puede afectar la capacidad de respuesta desde la comunidad y coordinación con el municipio. También incide la alta presión demográfica dada su centralidad y alta presencia de actividades económicas y polos laborales en el sector norte de la unidad, donde además se identificaron valores de alta densidad urbana que pueden facilitar la retención de calor mediante el efecto isla de calor.

Otros componentes de vulnerabilidad son la disponibilidad de sistemas sanitarios, ya que existe una escasez de bebederos públicos circundantes, con sólo un 23% de la superficie con accesibilidad a bebederos públicos, principalmente accesibles a menos de 15 minutos en el sector noroeste y sureste de la UV. Además, en el sector oriente y sur existe una baja accesibilidad a servicios de salud primaria y urgencias, lo que aumenta la susceptibilidad en caso de eventos que requieran atención inmediata.

Esta unidad vecinal destaca además por presentar el porcentaje más bajo de superficie con suelos permeables (2,5%). Esta condición favorece la escorrentía superficial, potenciando anegamientos durante períodos de precipitación y a la vez limitando la disponibilidad de agua a nivel freático, afectando a otros componentes de vulnerabilidad como la presencia de especies adaptadas al clima –requiriendo mayor riego artificial– e impactos a la sanidad de la vegetación –posiblemente debido a la limitada infiltración y mayor compactación de suelo–, entre otros.

Medidas de adaptación recomendadas

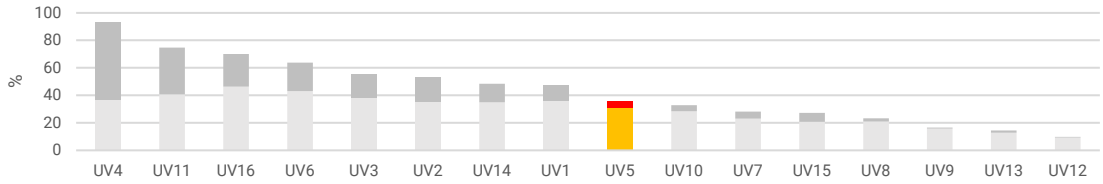
Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
Zanjas de infiltración con vegetación (Bioswales)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Inundación	Sequía	Sistema frontal	4	4	5
Puntos de hidratación	Infraestructura	Áreas verdes y espacios públicos		Ola de calor			3	4	5
Jardineras de aguas lluvias (Stormwater Planter)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Inundación	Sequía	Sistema frontal	4	3	5
Directrices para el diseño de proyectos de paisajismo adaptados al cambio climático (Climate-Proof Garden)	Estándar o normativa	Tejido urbano	Áreas verdes y espacios públicos	Sequía	Ola de calor	Inundación	4	5	5
Pavimentos permeables	Infraestructura	Áreas verdes y espacios públicos	Edificaciones	Inundación	Sequía	Sistema frontal	2	3	5

Tabla 25. Perfil de riesgo UV 4. Fuente: elaboración propia.

Unidad Vecinal N°5

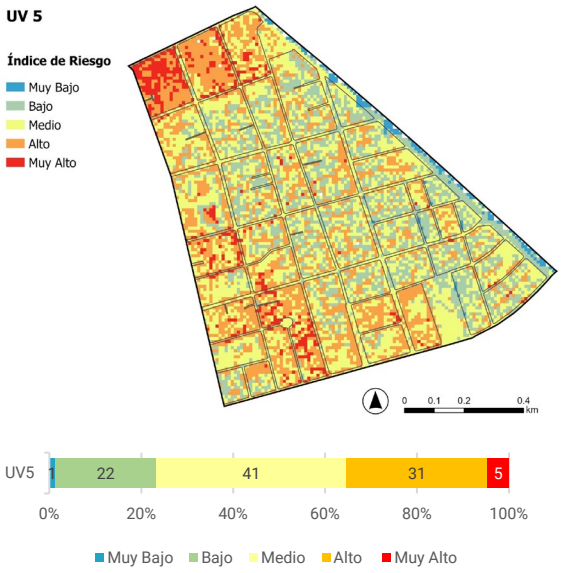
UV5

Juntas de vecinos	• Activa: Junta El Bosque Oriente • Inactiva: Junta El Bosque
Área	• 100,6 ha
Amenaza muy alta	• 2,2 ha (2,2%)
Exposición muy alta	• 12,8 ha (12,7%)
Riesgo muy alto	• 4,6 ha (4,6%)

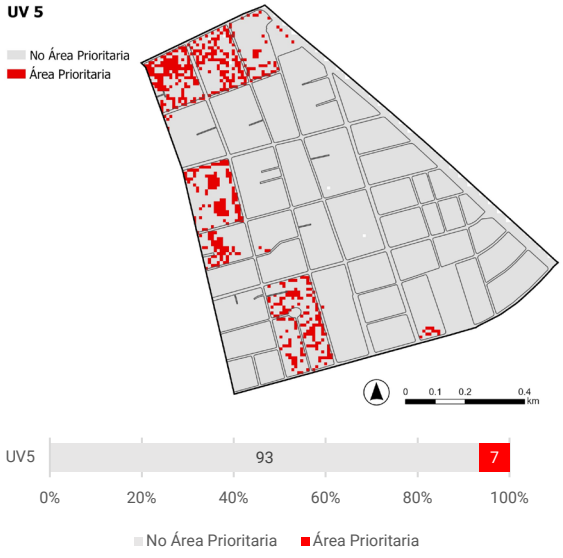


Comparativo: superficie de UV con riesgo **Alto** y **Muy Alto**

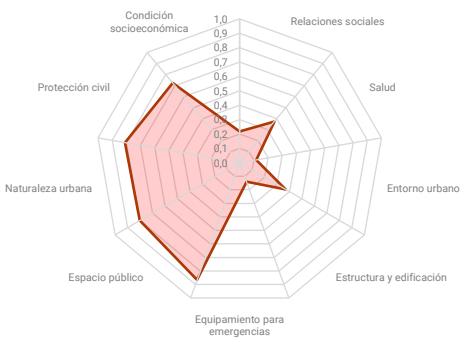
Zonas homogéneas de riesgo



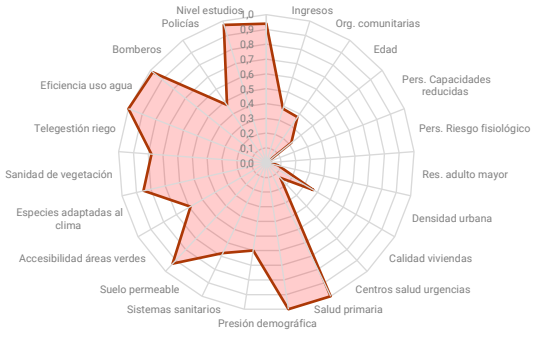
Áreas prioritarias



Vulnerabilidad por dimensión



Vulnerabilidad por componente



Perfil de riesgo

La unidad vecinal N° 5 presenta un 31% de su superficie con niveles de riesgo Alto, y sólo un 5% con niveles Muy Altos concentrados en el sector norponiente de la Unidad Vecinal (entre Providencia y Los Leones), una zona de alta densidad urbana a nivel comunal. En este sector se concentra un alto flujo de población flotante, cercano a nodos de transporte, actividades económicas y polos laborales, lo que en general se opone al resto de la unidad vecinal, de carácter más residencial y caracterizada por una alta presencia de población en edad vulnerable (menores de 5 años y mayores de 65), implicando un nivel de presión demográfica medio-alto, sobre todo considerando la falta de servicios de salud primaria y urgencias en toda la UV.

Otros componentes de vulnerabilidad se relacionan con la baja presencia de suelo permeable (sólo un 7,3% de superficie de la UV) y aspectos débiles de naturaleza urbana como la sanidad de vegetación en sus áreas verdes e inexistencia de telegestión, lo que aumenta las condiciones de susceptibilidad ante inundación y retención de calor. Estos aspectos son agravados por el bajo nivel de accesibilidad a áreas verdes, ya que solo un 14% de superficie presenta buena accesibilidad, concentrada en el extremo suroriente de la UV.

Medidas de adaptación recomendadas

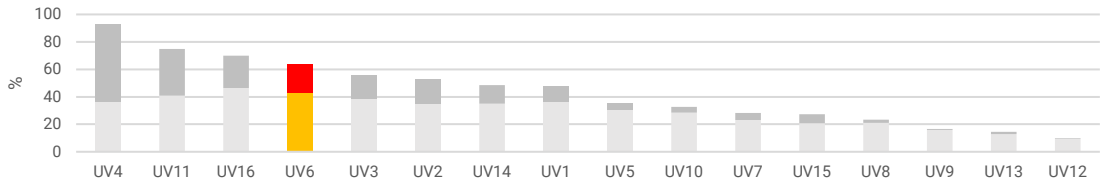
Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
Refugios climáticos temporales (Pop-up Heat Relief)	Infraestructura	Tejido urbano		Ola de calor			3	4	5
Monitoreo de la percepción del riesgo frente a las de calor	Programa			Ola de calor			3	5	5
Implementar sistemas de telegestión para riego de áreas verdes	Tecnología	Áreas verdes y espacios públicos		Sequía			2	2	4
Sistema de alerta temprana para temperaturas extremas y olas de calor	Tecnología	Tejido urbano		Ola de calor			2	1	3
Techos verdes (Green Roofs)	Solución basada en la naturaleza	Edificaciones		Inundación	Ola de calor		1	1	4

Tabla 26. Perfil de riesgo UV 5. Fuente: elaboración propia.

Unidad Vecinal N°6

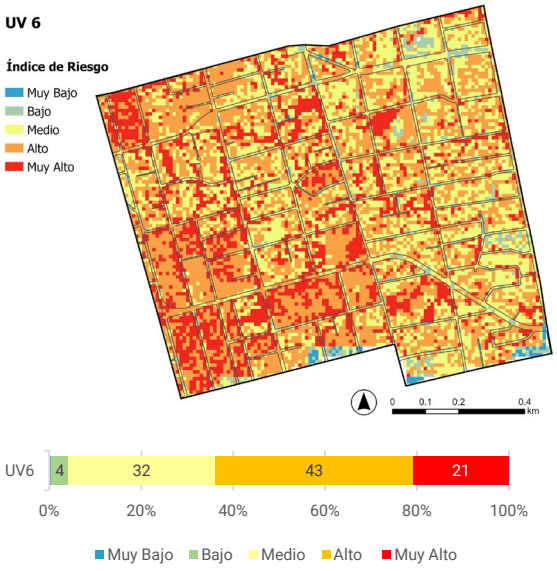
UV6

Juntas de vecinos	• Activa: Junta Santa Isabel
Área	• 111,2 ha
Amenaza muy alta	• 20,6 ha (18,6%)
Exposición muy alta	• 17,5 ha (15,8%)
Riesgo muy alto	• 22,8 ha (20,7%)

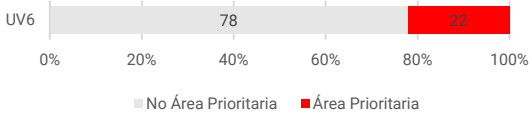


Comparativo: superficie de UV con riesgo **Alto** y **Muy Alto**

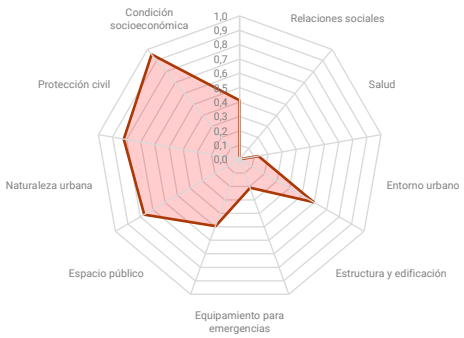
Zonas homogéneas de riesgo



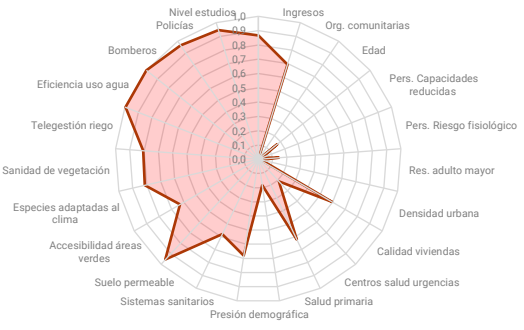
Áreas prioritarias



Vulnerabilidad por dimensión



Vulnerabilidad por componente



Perfil de riesgo

La unidad vecinal N°6 presenta un 64% de su superficie con valores de riesgo Alto o Muy Alto, 43% y 21% respectivamente. Esta unidad registró temperaturas máximas superficiales sobre los 40°C durante eventos de olas de calor.

En cuanto a vulnerabilidad, los altos niveles de densidad urbana favorecen la retención de calor, principalmente en el sector norponiente cercano a Barrio Italia. Además, esta UV es una de las cuatro unidades vecinales en la comuna con mayor porcentaje de hogares de bajos ingresos y materialidad de viviendas en estado recuperable, concentrados en los sectores poniente y sur de la UV.

La accesibilidad a áreas verdes y permeabilidad del suelo son algunos de los componentes de vulnerabilidad críticos de esta unidad, con sólo un 5,5% de superficie con buena accesibilidad a áreas verdes y una escasa presencia de suelos permeables, alcanzando sólo un 4,6% del total. Sin embargo, esta unidad vecinal destaca por sus plazas y plazuelas que cuentan con riego con telegestión, entre ellas la Plazuela González Vera ubicada en la intersección entre Salvador con Francisco Bilbao y la Plaza Julio Prado en la calle homónima.

Medidas de adaptación recomendadas

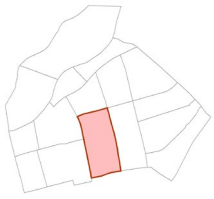
Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
Enfriamiento pasivo en edificaciones	Estándar o normativa	Edificaciones		Ola de calor			2	4	4
Planificación de sombras naturales	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Ola de calor			4	3	4
Pavimentos fríos (Cool Pavements)	Tecnología	Tejido urbano		Ola de calor			5	1	4
Plazas de bolsillo optimizadas como área verde de alta cobertura arbórea	Solución basada en la naturaleza	Tejido urbano	Áreas verdes y espacios públicos	Ola de calor			4	3	4
Área mínima de vegetación (AMV) para nuevos desarrollos (Green Area Ratio – GAR)	Estándar o normativa	Edificaciones		Inundación	Sequía	Ola de Calor	2	3	5

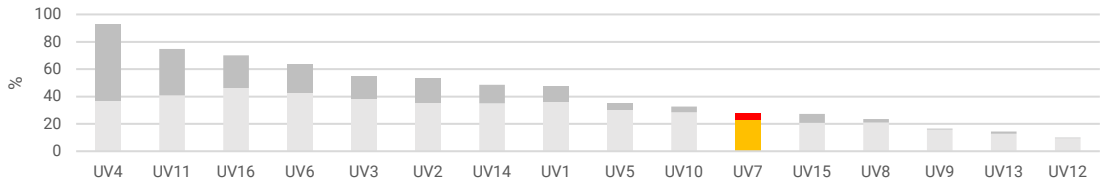
Tabla 27. Perfil de riesgo UV 6. Fuente: elaboración propia.

Unidad Vecinal N°7

UV7

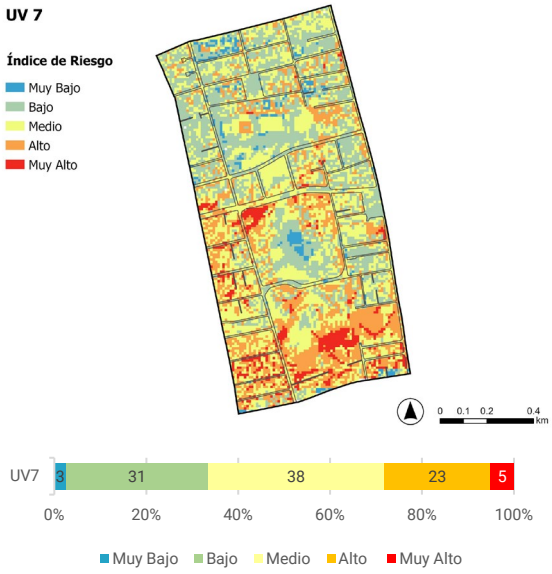
Juntas de vecinos	• Activa: Junta los Estanques
Área	• 116,9 ha
Amenaza muy alta	• 17,9 ha (15,3%)
Exposición muy alta	• 10,6 ha (9%)
Riesgo muy alto	• 5,9 ha (5,1%)



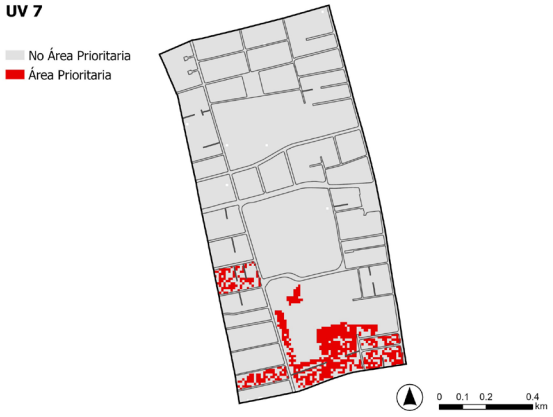


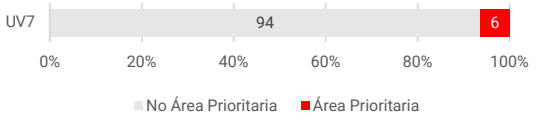
Comparativo: superficie de UV con riesgo **Alto** y **Muy Alto**

Zonas homogéneas de riesgo

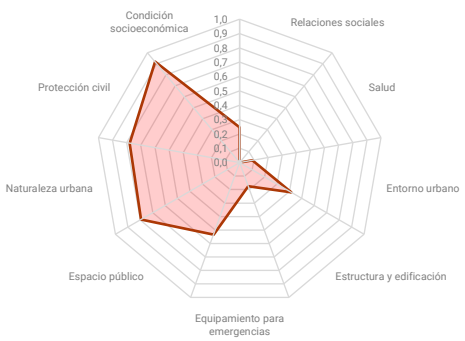


Áreas prioritarias

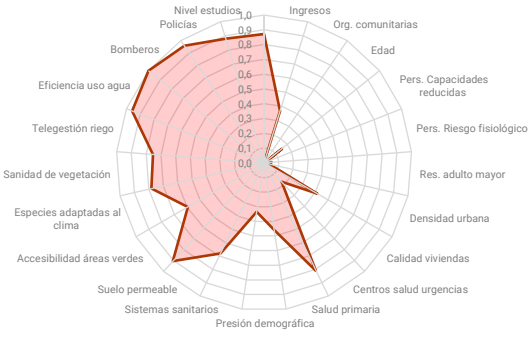




Vulnerabilidad por dimensión



Vulnerabilidad por componente



Perfil de riesgo

La Unidad vecinal N°7 presenta un 5% de su superficie en riesgo Muy Alto y un 23% con riesgo Alto, concentrados principalmente en el sector centro y sur de la unidad. Esta UV presenta un alto porcentaje de su superficie amenazada por inundación (12,1%), además de registrar temperaturas máximas superficiales sobre los 40°C durante eventos de olas de calor.

En cuanto a condiciones de vulnerabilidad, la densidad urbana en esta unidad es mayor en el sector sur de la UV, con valores más altos en los alrededores del parque Inés de Suárez. Este parque es una de las áreas verdes más extensas de la comuna y cuenta con sistema de Telegestión del riego, lo que contribuye al 21,5% de la superficie de esta unidad vecinal con buena accesibilidad a áreas verdes.

La presencia del parque eleva el porcentaje de suelos permeables en esta unidad, alcanzando un 9,4% respecto de su superficie total. Sin embargo, el sector sur cuenta con escasas zonas de superficie permeable comparado con el resto de la UV y no existen activaciones del programa jardines sustentables que permiten atender temas de eficiencia hídrica. Otro aspecto de vulnerabilidad es el acceso a servicios de salud primaria comunal, la cual es escasa en el sector contiguo a la escuela de carabineros hacia el sur de la UV.

Medidas de adaptación recomendadas

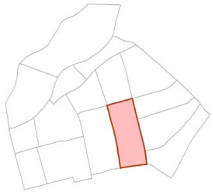
Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
Manejo optimizado del riego de áreas verdes por parte de vecinos	Estándar o normativa	Áreas verdes y espacios públicos	Sequía	Ola de calor			4	5	5
Techos fríos (Cool Roofs)	Tecnología	Edificaciones		Ola de calor			5	4	1
Jardineras de aguas lluvias (Stormwater Planter)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Inundación	Sequía	Sistema frontal	4	3	5
Techos verdes (Green Roofs)	Solución basada en la naturaleza	Edificaciones		Inundación	Ola de calor		1	1	4
Monitoreo del nivel freático y evapotranspiración	Tecnología	Tejido urbano		Sequía			2	1	3

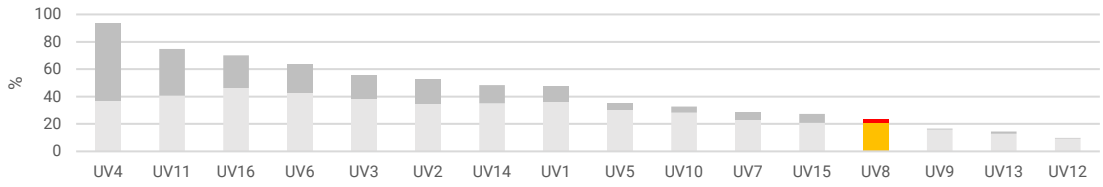
Tabla 28. Perfil de riesgo UV 7. Fuente: elaboración propia.

Unidad Vecinal N°8

UV8

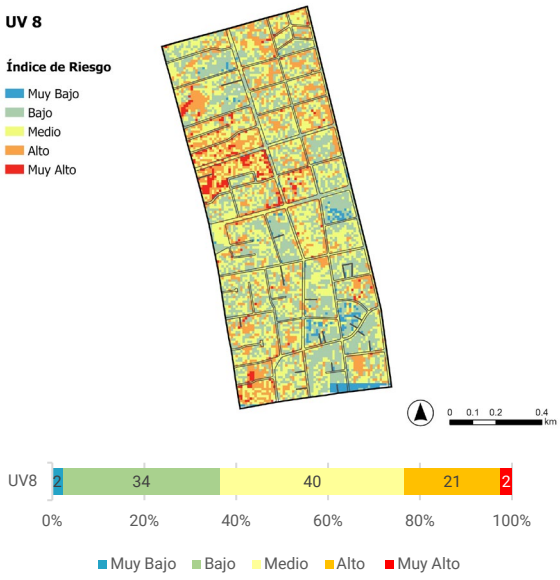
Juntas de vecinos	• Activa: Junta Pocuro
Área	• 103,9 ha
Amenaza muy alta	• 7,2 ha (6,9%)
Exposición muy alta	• 37 ha (35,6%)
Riesgo muy alto	• 2,5 ha (2,4%)





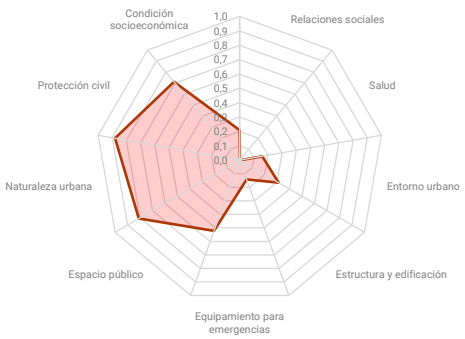
Comparativo: superficie de UV con riesgo **Alto** y **Muy Alto**

Zonas homogéneas de riesgo

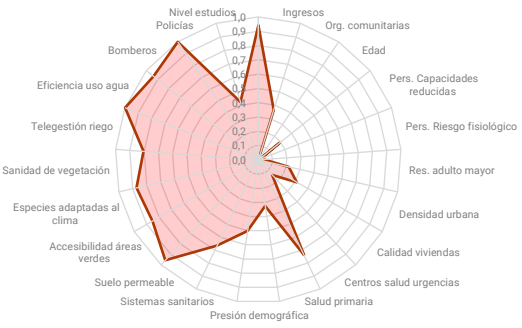


Áreas prioritarias

Vulnerabilidad por dimensión



Vulnerabilidad por componente



Perfil de riesgo

La Unidad vecinal N°8 presenta sólo un 2% de su superficie en riesgo Muy Alto y un 21% en riesgo Alto, concentrados principalmente en el sector poniente norte.

En cuanto a vulnerabilidad, esta UV presenta niveles altos de densidad urbana en las cercanías de la estación de Metro Inés de Suárez y las calles Francisco Bilbao y Pedro de Valdivia, lo que puede facilitar la retención de calor extremo y contribuye a un limitado 4,6% de superficie con suelos permeables. La alta densidad urbana también explica la baja proporción de superficies con buena accesibilidad áreas verdes (1,9%), las que no cuentan con riego con telegestión. Estas condiciones limitan la capacidad de infiltración de agua, potenciando la escorrentía superficial durante lluvias y limitando la recarga del nivel freático, lo que en última instancia afecta la disponibilidad de agua para especies vegetales en superficie.

Otro aspecto de vulnerabilidad se relaciona con los servicios de salud con sala de urgencias, ya que un 60% de la superficie (zona norte y centro-poniente) se encuentra fuera del rango de buena accesibilidad.

Medidas de adaptación recomendadas

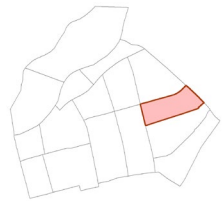
Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
Directrices para el diseño de proyectos de paisajismo adaptados al cambio climático (Climate-Proof Garden)	Estándar o normativa	Tejido urbano	Áreas verdes y espacios públicos	Sequía	Ola de calor	Inundación	4	5	5
Jardines de bioretención o jardines de lluvia (Bioretention, Raingardens)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos	Edificaciones	Inundación	Sequía	Sistema frontal	3	4	5
Jardineras de aguas lluvias (Stormwater Planter)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Inundación	Sequía	Sistema frontal	4	3	5
Implementar sistemas de telegestión para riego de áreas verdes	Tecnología	Áreas verdes y espacios públicos		Sequía			2	2	4
Área mínima de vegetación (AMV) para nuevos desarrollos (Green Area Ratio – GAR)	Estándar o normativa	Edificaciones		Inundación	Sequía	Ola de Calor	2	3	5

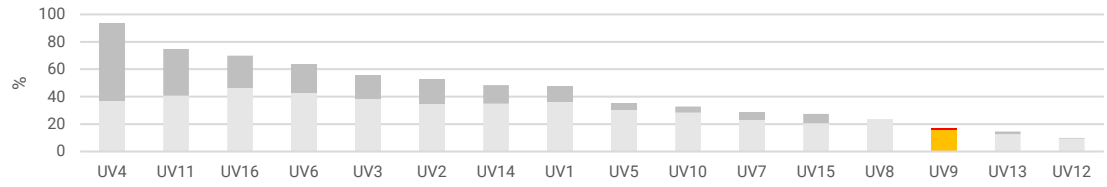
Tabla 29. Perfil de riesgo UV 8. Fuente: elaboración propia.

Unidad Vecinal N°9

UV9

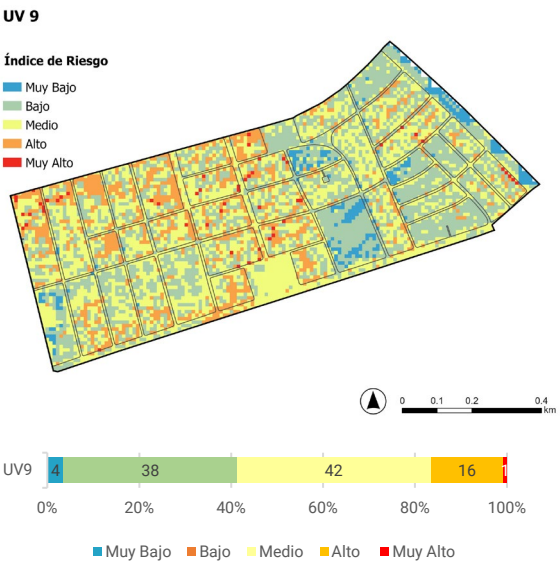
Juntas de vecinos	• Activa: Junta Pocuro Norte
Área	• 71,2 ha
Amenaza muy alta	• 2,3 ha (3,2%)
Exposición muy alta	• 39,6 ha (55,5%)
Riesgo muy alto	• 0,5 ha (0,7%)



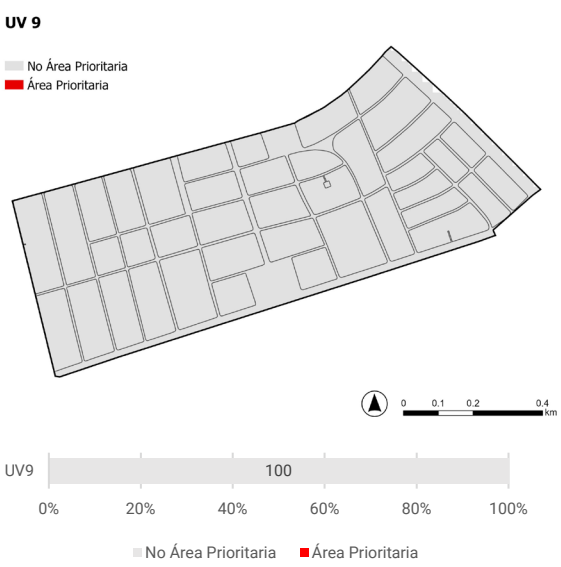


Comparativo: superficie de UV con riesgo **Alto** y **Muy Alto**

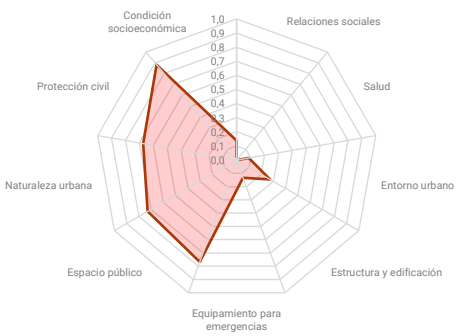
Zonas homogéneas de riesgo



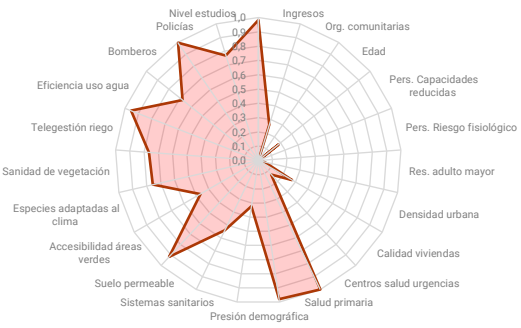
Áreas prioritarias



Vulnerabilidad por dimensión



Vulnerabilidad por componente



Perfil de riesgo

La Unidad vecinal N°9 presenta un 16% de su superficie con valores de riesgo Alto y sólo un 1% con valores Muy Altos. Esta UV se encuentra particularmente amenazada por eventos de inundaciones por desborde de cauce, sobre todo en el Canal San Carlos sobre el eje Tobalaba.

En cuanto a vulnerabilidad, esta unidad presenta una alta concentración de población en edad vulnerable (menores a 5 años y mayores de 65), en especial en las manzanas censales ubicadas en su zona central. Sumado a lo anterior, un aspecto clave de vulnerabilidad es la baja accesibilidad a servicios de salud primario, ya que sólo un 10% de la superficie total tiene buena accesibilidad en el sector sur-poniente), y el 100% del territorio de la UV se encuentra a más de 15 minutos de servicios con sala de urgencias.

Aspectos que contribuyen a la disminución del riesgo se relacionan con espacio público y áreas verdes, ya que esta unidad posee un manejo eficiente del recurso hídrico, con varios puntos del programa jardines sustentables, además de sistemas de telegestión incorporados en la mayor parte de sus áreas verdes de categoría plaza y parque (Plaza Las Lilas, Plaza Pérez Zujovic, Plaza Río de Janeiro y parque Pocuro). También posee un 27,8% de su superficie con buena accesibilidad a áreas verdes, considerablemente mayor a las unidades vecinales circundantes, además de una completa cobertura de bebederos públicos.

Medidas de adaptación recomendadas

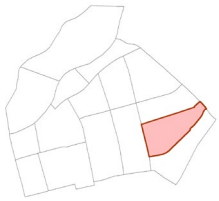
Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
Sistema de alerta temprana para temperaturas extremas y olas de calor	Tecnología	Tejido urbano		Ola de calor			2	1	3
Refugios climáticos temporales (Pop-up Heat Relief)	Infraestructura	Tejido urbano		Ola de calor			3	4	5
Jardineras de aguas lluvias (Stormwater Planter)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Inundación	Sequía	Sistema frontal	4	3	5
Zanjas de infiltración con vegetación (Bioswales)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Inundación	Sequía	Sistema frontal	4	4	5
Monitoreo de la percepción del riesgo frente a las de calor	Programa			Ola de calor			3	5	5

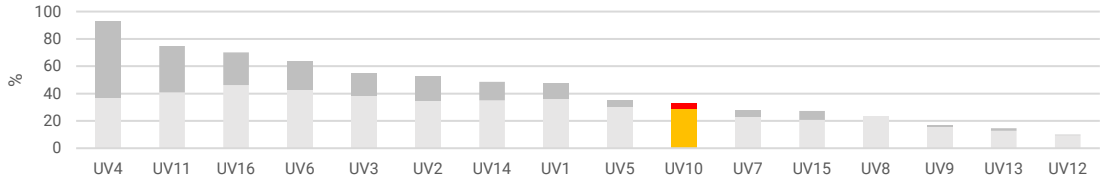
Tabla 30. Perfil de riesgo UV 9. Fuente: elaboración propia.

Unidad Vecinal N°10

UV10

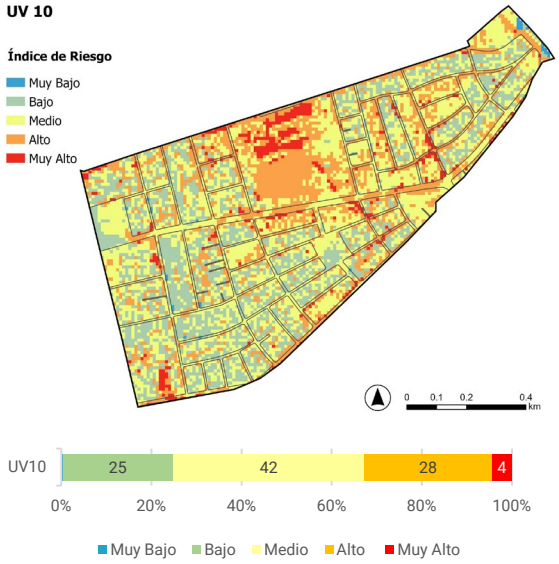
Juntas de vecinos	• Activa: Junta Barrio Plaza Uruguay • Inactivas: Juntas Armonía y Trabajo, Barrio Las Flores
Área	• 95,5 ha
Amenaza muy alta	• 8,3 ha (8,7%)
Exposición muy alta	• 14 ha (14,7%)
Riesgo muy alto	• 4,1 ha (4,3%)



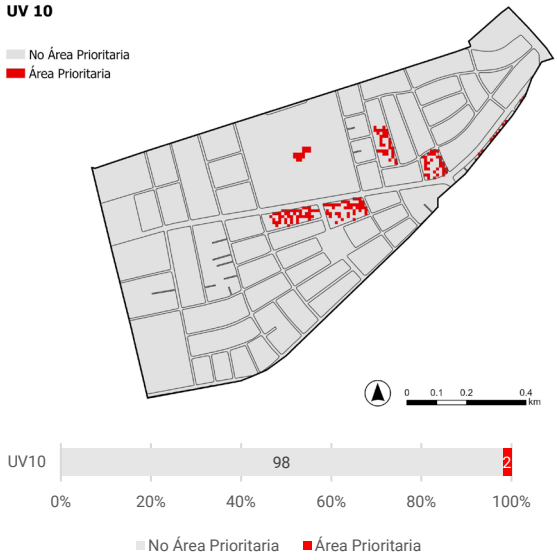


Comparativo: superficie de UV con riesgo **Alto** y **Muy Alto**

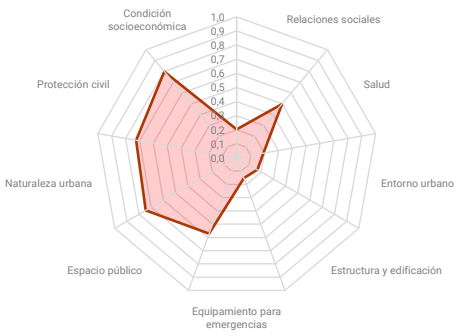
Zonas homogéneas de riesgo



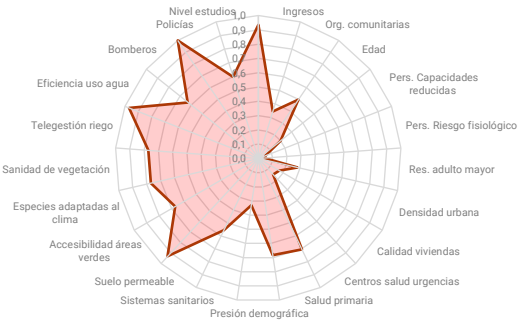
Áreas prioritarias



Vulnerabilidad por dimensión



Vulnerabilidad por componente



Perfil de riesgo

La unidad vecinal N°10 presenta un 28% de su superficie con valores de riesgo Alto, y sólo un 4% de valor Muy Alto, destacando por registrar temperaturas máximas superficiales sobre los 40°C durante eventos de olas de calor.

Los niveles de riesgo Muy alto se concentran alrededor del Colegio San Ignacio del Bosque, influido por la alta presencia de población en edad vulnerable. En este sentido, un aspecto clave de vulnerabilidad es la baja proporción de áreas con buena accesibilidad a provisión de servicios de salud comunal, especialmente en el sector oriente de la UV.

Esta unidad posee en general baja densidad urbana y accesibilidad a áreas verdes (18% de la superficie comunal con acceso). Además, cuenta con una completa cobertura de bebederos públicos, cuatro activaciones del programa jardines sustentables, tres áreas verdes distribuidas en la UV con sistema de Telegestión de riego (Parque Augusto Errázuriz, Plaza La Alcaldesa y Plaza Uruguay). Sin embargo y ligado a su uso residencial, los suelos permeables en esta unidad vecinal sólo representan un 7% del total, lo que puede limitar la capacidad de infiltración durante episodios de precipitación.

Medidas de adaptación recomendadas

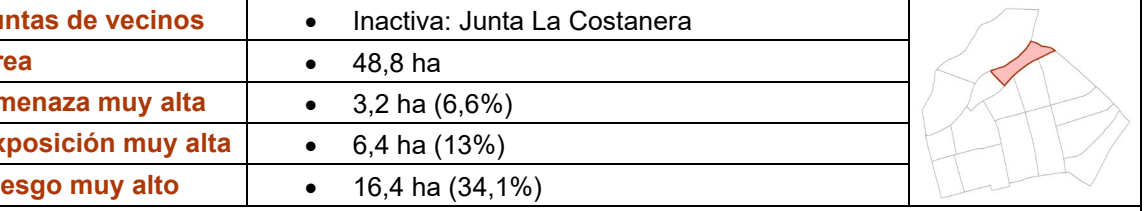
Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
Monitoreo de la percepción del riesgo frente a las de calor	Programa			Ola de calor			3	5	5
Sistema de alerta temprana para temperaturas extremas y olas de calor	Tecnología	Tejido urbano		Ola de calor			2	1	3
Jardineras de aguas lluvias (Stormwater Planter)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Inundación	Sequía	Sistema frontal	4	3	5
Techos verdes (Green Roofs)	Solución basada en la naturaleza	Edificaciones		Inundación	Ola de calor		1	1	4
Paraderos optimizados para el calor	Infraestructura	Tejido urbano		Ola de calor			3	2	4

Tabla 31. Perfil de riesgo UV 10. Fuente: elaboración propia.

Unidad Vecinal N°11

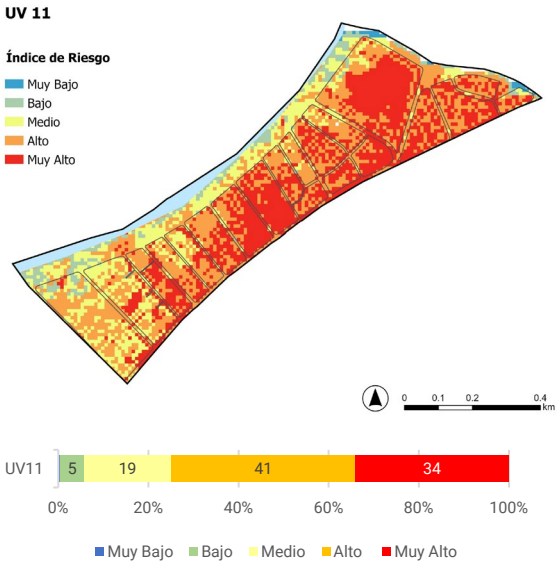
UV11

Juntas de vecinos	• Inactiva: Junta La Costanera
Área	• 48,8 ha
Amenaza muy alta	• 3,2 ha (6,6%)
Exposición muy alta	• 6,4 ha (13%)
Riesgo muy alto	• 16,4 ha (34,1%)

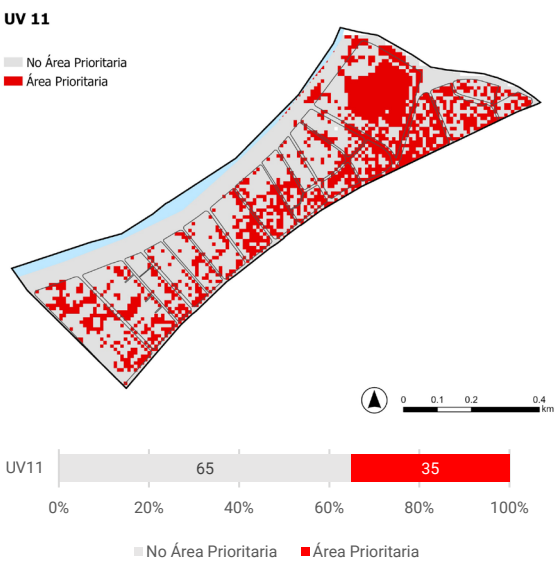


Comparativo: superficie de UV con riesgo **Alto** y **Muy Alto**

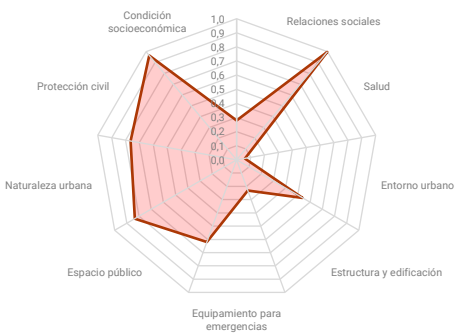
Zonas homogéneas de riesgo



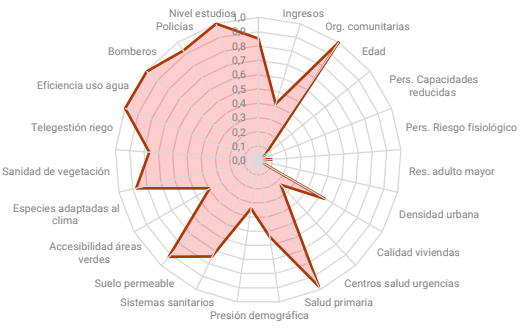
Áreas prioritarias



Vulnerabilidad por dimensión



Vulnerabilidad por componente



Perfil de riesgo

La unidad vecinal N°11 es la segunda en la comuna con mayor superficie en riesgo Alto y Muy Alto, con 41% y 24% respectivamente. Esta UV presenta dos puntos críticos de colapso de colectores de aguas lluvia, uno ubicado en Nueva de Lyon y otro en Andrés Bello con Nueva Tobalaba, los que deben ser considerados como foco de gestión ante eventos de precipitación extremos.

La densidad urbana en esta unidad es de las más altas en la comuna, predominante desde La Concepción hasta el Mall Costanera Center y Tajamar. Aspectos de vulnerabilidad son la inactividad de su junta de vecinos y el bajo porcentaje de superficie con suelos permeables (8,2%). Sumado a esto, no se registran sistemas de Telegestión de riego en esta unidad ni activaciones del programa jardines sustentables, lo cual enfatiza la necesidad de mejorar la gestión del recurso hídrico, sobre todo en las áreas verdes colindantes al rio Mapocho.

Pese a lo anterior, esta unidad vecinal presenta una cobertura de bebederos públicos cercana al 80% y la superficie con buena accesibilidad a áreas verdes llega al 21,6% del total, explicado principalmente por la cercanía al Parque Uruguay y otras áreas verdes colindantes a la unidad vecinal, como el Parque de las Esculturas.

Medidas de adaptación recomendadas

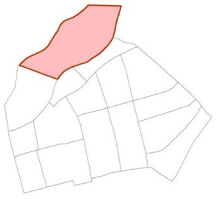
Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
Zanjas de infiltración con vegetación (Bioswales)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Inundación	Sequía	Sistema frontal	4	4	5
Monitoreo del nivel freático y evapotranspiración	Tecnología	Tejido urbano		Sequía			2	1	3
Jardineras de aguas lluvias (Stormwater Planter)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Inundación	Sequía	Sistema frontal	4	3	5
Pavimentos permeables	Infraestructura	Áreas verdes y espacios públicos	Edificaciones	Inundación	Sequía	Sistema frontal	2	3	5
Recolección de aguas lluvias	Infraestructura	Edificaciones		Sequía	Inundación		3	1	3

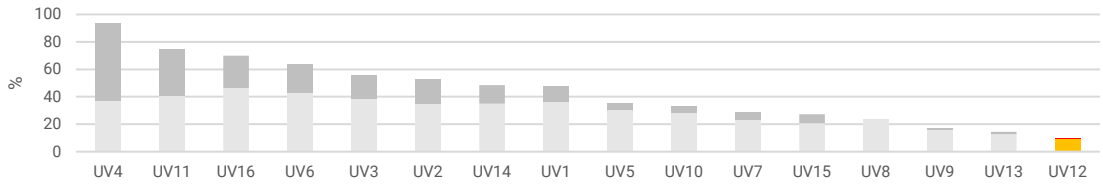
Tabla 32. Perfil de riesgo UV 11. Fuente: elaboración propia.

Unidad Vecinal N°12

UV12

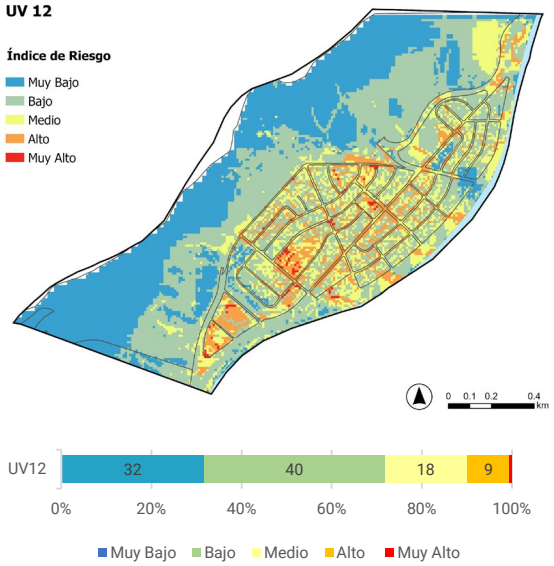
Juntas de vecinos	• Activa: Junta Pedro de Valdivia Norte
Área	• 214,7 ha
Amenaza muy alta	• 13,3 ha (6,5%)
Exposición muy alta	• 0,7 ha (0,3%)
Riesgo muy alto	• 0,9 ha (0,4%)





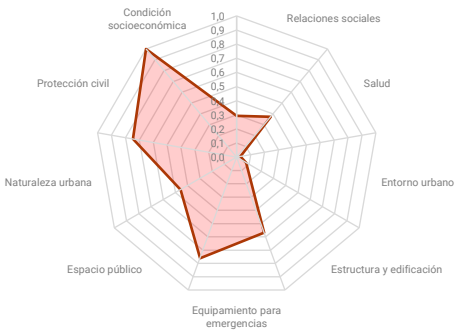
Comparativo: superficie de UV con riesgo **Alto** y **Muy Alto**

Zonas homogéneas de riesgo

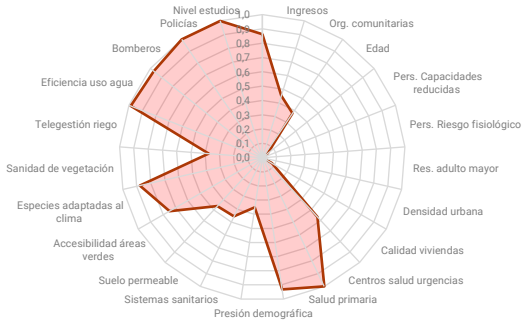


Áreas prioritarias

Vulnerabilidad por dimensión



Vulnerabilidad por componente



Perfil de riesgo

La unidad vecinal N°12 presenta los valores de riesgo más bajos de la comuna, con un 9% de su superficie con valores Altos y sólo un 1% con valores Muy Altos. Esta zona es una de las dos unidades vecinales que registró las mayores temperaturas máximas debido a la gran cantidad de suelo desnudo en el Cerro San Cristóbal, lo que ha aumentado en los últimos años debido al deterioro de la salud de la vegetación producto de la sequía e incendios forestales. La carencia de vegetación puede favorecer la escorrentía superficial durante episodios de precipitación extremos.

En cuanto a la vulnerabilidad, los mayores niveles de densidad urbana que también pueden favorecer la retención del calor se presentan en el sector surponiente, principalmente debido a la presencia de edificación en altura como la Torre Santa María o las dependencias de la Clínica Indisa. Presenta buena accesibilidad a áreas verdes y la cobertura de bebederos públicos al 88,6%. Esta unidad presenta algunas áreas verdes con sistema de Telegestión de riego, como el Parque de las Esculturas, Plaza Los Conquistadores o la Plaza Padre Letelier. Además, la presencia del Parque Metropolitano de Santiago contribuye al 53,6% de superficie con suelos permeables respecto al total de la unidad.

Medidas de adaptación recomendadas

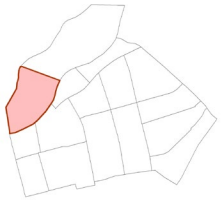
Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
Paraderos optimizados para el calor	Infraestructura	Tejido urbano		Ola de calor			3	2	4
Manejo optimizado del riego de áreas verdes por parte de vecinos	Estándar o normativa	Áreas verdes y espacios públicos	Sequía	Ola de calor			4	5	5
Monitoreo de la percepción del riesgo frente a las de calor	Programa			Ola de calor			3	5	5
Directrices para el diseño de proyectos de paisajismo adaptados al cambio climático (Climate-Proof Garden)	Estándar o normativa	Tejido urbano	Áreas verdes y espacios públicos	Sequía	Ola de calor	Inundación	4	5	5
Zanjas de infiltración con vegetación (Bioswales)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Inundación	Sequía	Sistema frontal	4	4	5

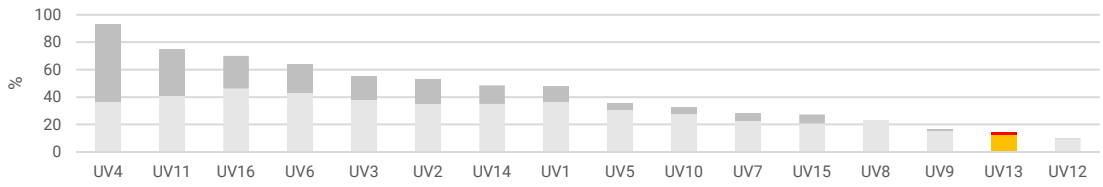
Tabla 33. Perfil de riesgo UV 12. Fuente: elaboración propia.

Unidad Vecinal N°13

UV13

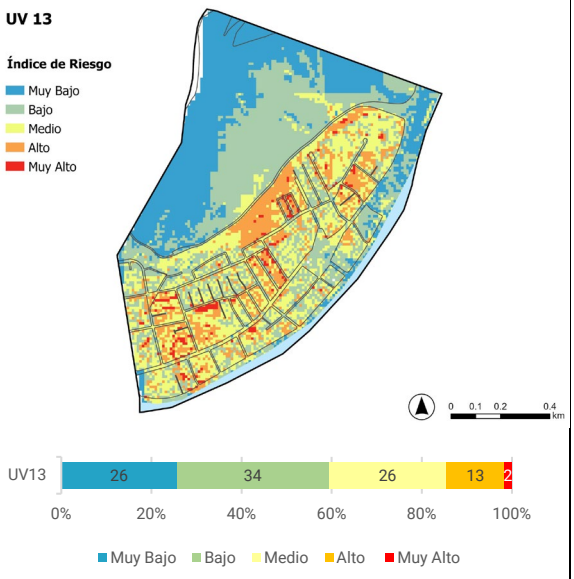
Juntas de vecinos	• Activa: Junta Bellavista
Área	• 120,9 ha
Amenaza muy alta	• 13,7 ha (11,5%)
Exposición muy alta	• 0,4 ha (0,3%)
Riesgo muy alto	• 2 ha (1,7%)



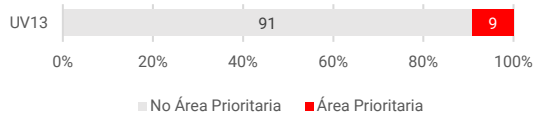


Comparativo: superficie de UV con riesgo **Alto** y **Muy Alto**

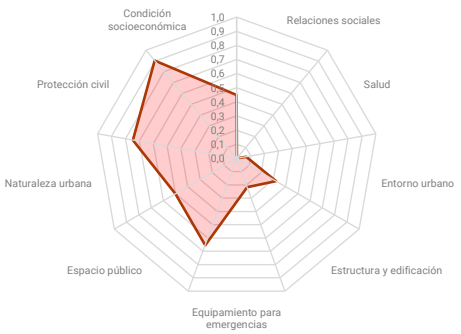
Zonas homogéneas de riesgo



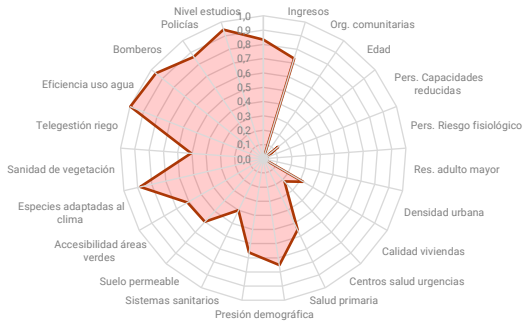
Áreas prioritarias



Vulnerabilidad por dimensión



Vulnerabilidad por componente



Perfil de riesgo

La unidad vecinal N°13 es la segunda en la comuna con menor superficie en nivel de riesgo Alto y Muy Alto, con 13% y 2% respectivamente. Esta UV está particularmente expuesta a deslizamientos causados por eventos extremos de precipitación en las cercanías pobladas del cerro San Cristóbal, por lo que la gestión de la escorrentía superficial es clave. Además, es una de las dos unidades vecinales que registró las mayores temperaturas máximas debido a la gran cantidad de suelo desnudo en el Cerro San Cristóbal, lo que ha aumentado en los últimos años debido al deterioro de la salud de la vegetación producto de la sequía e incendios forestales.

Con respecto a la vulnerabilidad, en esta UV aparecen zonas de alta densidad urbana, aunque concentradas cerca de calle Santa María y en relación con los centros educacionales y clínicas presentes en el área. De las cuatro unidades vecinales con mayor número de hogares de ingresos bajos en la comuna, la unidad 13 es la que presenta mayores porcentajes en relación con el total. Además, las zonas aledañas al cerro San Cristóbal y la calle Carlos Reed se encuentran fuera del rango de buena accesibilidad a servicios de salud primaria.

Si bien cuenta con sistema de Telegestión de riego en la Plaza de los Molinos entre Fernando Manterola y Bellavista, existen varias áreas verdes que no cuentan con este sistema. No obstante, un 29,3% de la superficie total de esta unidad vecinal cuenta con buena accesibilidad a áreas verdes, y la cobertura de bebederos públicos es completa. Finalmente, esta UV presenta buenos niveles de permeabilidad, ante lo cual se debe ponderar la presencia del Parque Metropolitano que contribuye al 40% de superficie con suelos permeables respecto al total de la unidad.

Medidas de adaptación recomendadas

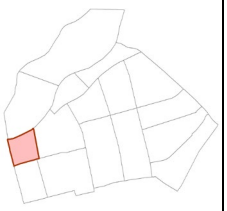
Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
Zanjas de infiltración con vegetación (Bioswales)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Inundación	Sequía	Sistema frontal	4	4	5
Jardineras de aguas lluvias (Stormwater Planter)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Inundación	Sequía	Sistema frontal	4	3	5
Implementar sistemas de telegestión para riego de áreas verdes	Tecnología	Áreas verdes y espacios públicos		Sequía			2	2	4
Manejo optimizado del riego de áreas verdes por parte de vecinos	Estándar o normativa	Áreas verdes y espacios públicos	Sequía	Ola de calor			4	5	5
Enfriamiento pasivo en edificaciones	Estándar o normativa	Edificaciones		Ola de calor			2	4	4

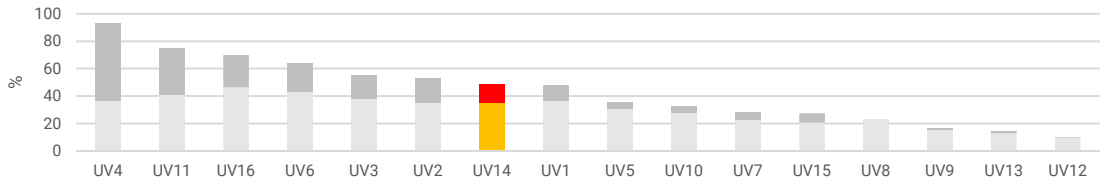
Tabla 34. Perfil de riesgo UV 13. Fuente: elaboración propia.

Unidad Vecinal N°14

UV14

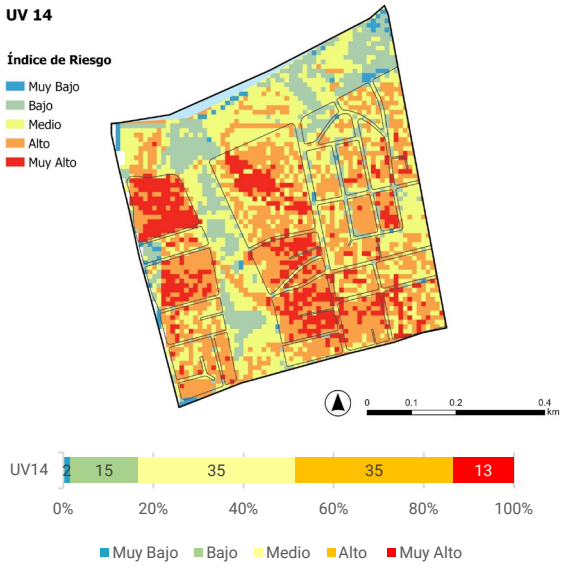
Juntas de vecinos	• Activa: Junta Seminario
Área	• 41,3 ha
Amenaza muy alta	• 5,1 ha (12,5%)
Exposición muy alta	• 22,5 ha (54,4%)
Riesgo muy alto	• 5,5 ha (13,4%)



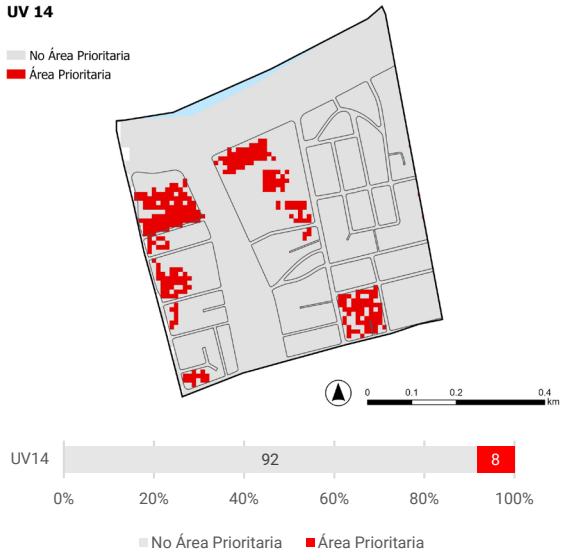


Comparativo: superficie de UV con riesgo **Alto** y **Muy Alto**

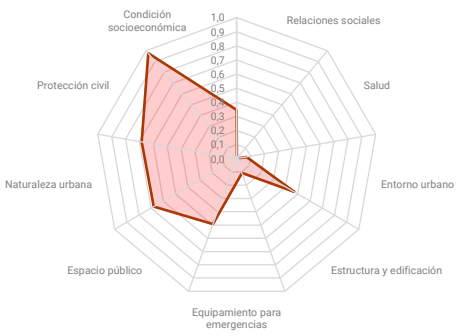
Zonas homogéneas de riesgo



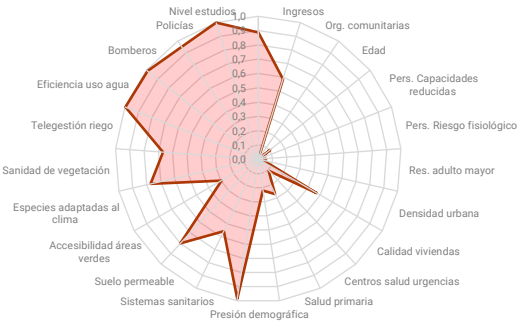
Áreas prioritarias



Vulnerabilidad por dimensión



Vulnerabilidad por componente



Perfil de riesgo

La unidad vecinal N°14 presenta un 35% de su superficie con valores de riesgo Alto y un 13% con valores de riesgo Muy Alto, estos últimos concentrados principalmente en los alrededores del Parque Bustamante, donde además presenta sus valores más altos en densidad urbana, en especial en su extremo norponiente.

La población flotante es considerablemente alta en todo el territorio de esta UV, lo que implica una alta presión demográfica sobre los servicios urbanos. Esta unidad vecinal cuenta con una alta accesibilidad a áreas verdes (44,6%) y mayor permeabilidad del suelo que otras unidades en la comuna, representando un 19,9% del total de su superficie, favoreciendo la sanidad de la vegetación y la infiltración de aguas lluvias. A pesar de la alta disponibilidad de áreas verdes, sólo la plaza José Manuel Barros cuenta con sistema de telegestión del riego para un uso eficiente del agua.

Medidas de adaptación recomendadas

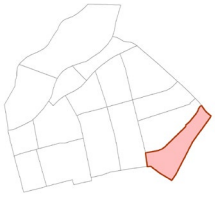
Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
Plan de acción para ocupaciones al aire libre durante olas de calor	Programa	Tejido urbano		Ola de calor			3	4	5
Refugios climáticos (Climate Shelters, Cooling Centers)	Infraestructura	Tejido urbano		Ola de calor			4	2	4
Refugios climáticos temporales (Pop-up Heat Relief)	Infraestructura	Tejido urbano		Ola de calor			3	4	5
Programas de concientización para la gestión hídrica domiciliaria	Programa			Sequía			1	4	5
Manejo optimizado del riego de áreas verdes por parte de vecinos	Estándar o normativa	Áreas verdes y espacios públicos	Sequía	Ola de calor			4	5	5

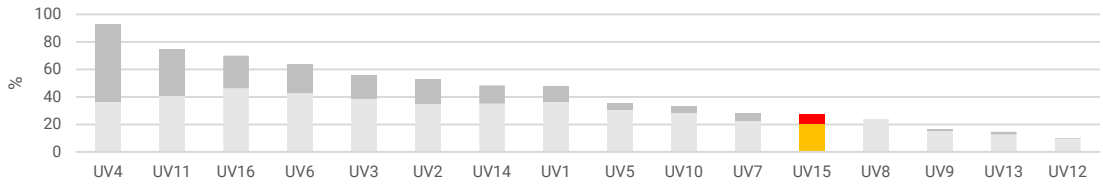
Tabla 35. Perfil de riesgo UV 14. Fuente: elaboración propia.

Unidad Vecinal N°15

UV15

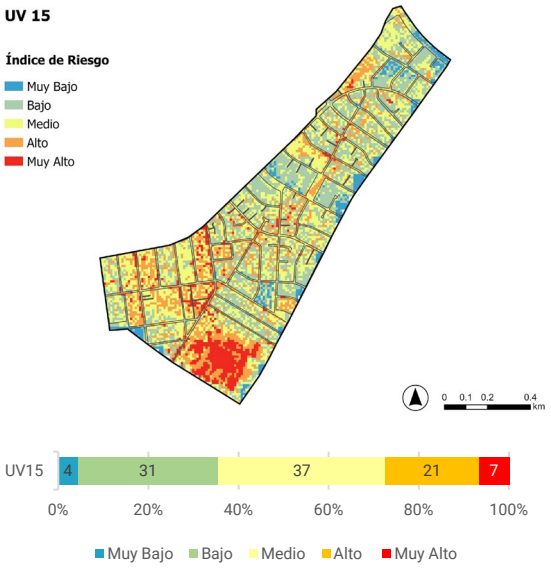
Juntas de vecinos	• Activa: Junta San José
Área	• 94,3 ha
Amenaza muy alta	• 8,7 ha (9,4%)
Exposición muy alta	• 8,5 ha (9%)
Riesgo muy alto	• 6,1 ha (6,6%)



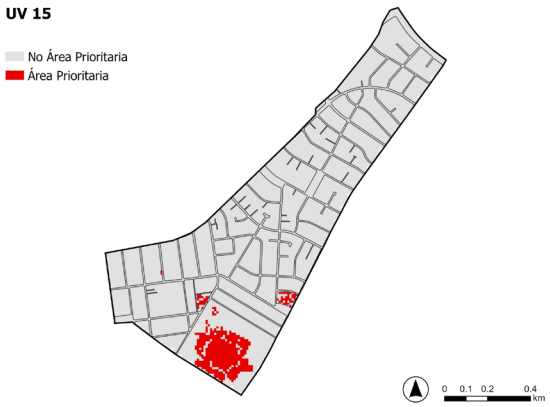


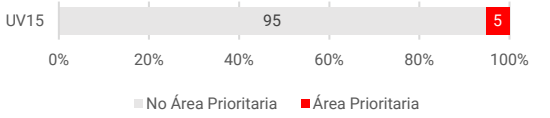
Comparativo: superficie de UV con riesgo **Alto** y **Muy Alto**

Zonas homogéneas de riesgo

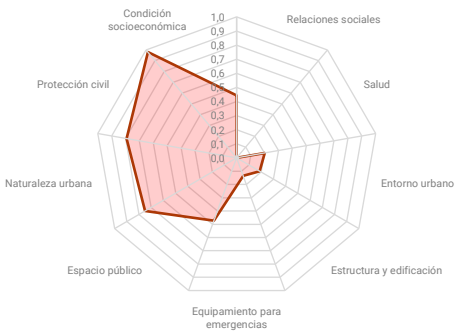


Áreas prioritarias

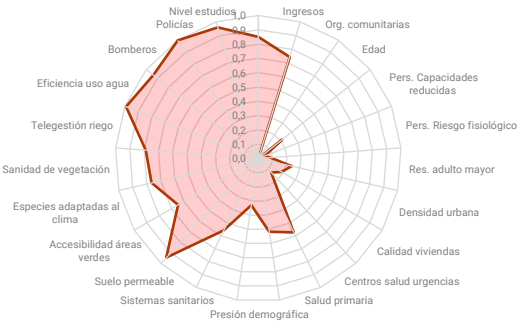




Vulnerabilidad por dimensión



Vulnerabilidad por componente



Perfil de riesgo

La unidad vecinal N°15 presenta un 21% de su superficie con valores de riesgo Alto y un 7% valores de riesgo Muy Altos, concentrados principalmente en el sector surponiente de esta unidad. Esta UV se encuentra amenazada por eventos de inundaciones por desborde de cauce, sobre todo en el Canal San Carlos sobre el eje Tobalaba. Además, esta unidad registró temperaturas máximas superficiales sobre los 40°C durante eventos de olas de calor.

En cuanto a vulnerabilidad, es una de las cuatro unidades que concentran hogares de ingresos bajos en la comuna, superando el 10% con respecto al total, los que se localizan hacia el surponiente de calle el Bosque. Lo anterior se suma en términos de vulnerabilidad a mayores concentraciones de población en edad vulnerable (menores de 5 años y mayores de 65 años). Además, esta unidad no cuenta con junta de vecinos activa y su densidad urbana es de las más bajas a nivel comunal, en parte influida por la presencia del Campus Oriente de la Universidad Católica y la limitada altura en las áreas residenciales circundantes. Las superficies con buena accesibilidad a áreas verdes no superan el 6,9% del total.

Cuenta con tres áreas verdes con sistema de Telegestión de riego (Plaza Dinamarca, Plaza 18 de y Plaza General Bonilla) y activaciones del programa jardines sustentable en su sección central. Además, posee excelente accesibilidad a bebederos públicos (99%) lo que representa una ventaja durante eventos de olas de calor. Sin embargo, sólo el 5,8% de su superficie cuenta con suelos permeables, lo que limita la capacidad de infiltración de aguas lluvias y puede favorecer la escorrentía superficial durante episodios de precipitación.

Medidas de adaptación recomendadas

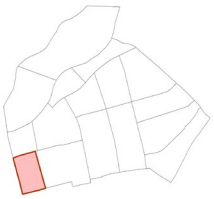
Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
Enfriamiento activo en edificaciones	Estándar o normativa	Edificaciones		Ola de calor			3	2	4
Monitoreo del nivel freático y evapotranspiración	Tecnología	Tejido urbano		Sequía			2	1	3
Jardineras de aguas lluvias (Stormwater Planter)	Solución basada en la naturaleza	Áreas verdes y espacios públicos		Inundación	Sequía	Sistema frontal	4	3	5
Monitoreo de la percepción del riesgo frente a las de calor	Programa			Ola de calor			3	5	5
Área mínima de vegetación (AMV) para nuevos desarrollos (Green Area Ratio – GAR)	Estándar o normativa	Edificaciones		Inundación	Sequía	Ola de Calor	2	3	5

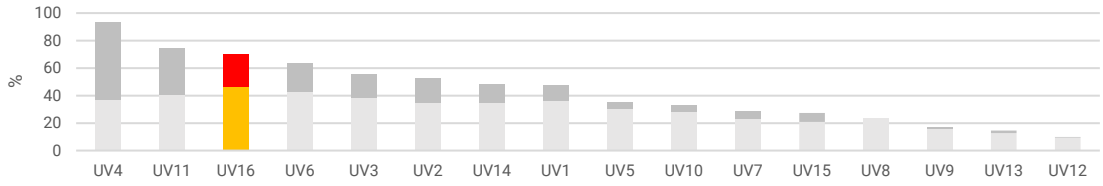
Tabla 36. Perfil de riesgo UV 15. Fuente: elaboración propia.

Unidad Vecinal N°16

UV16

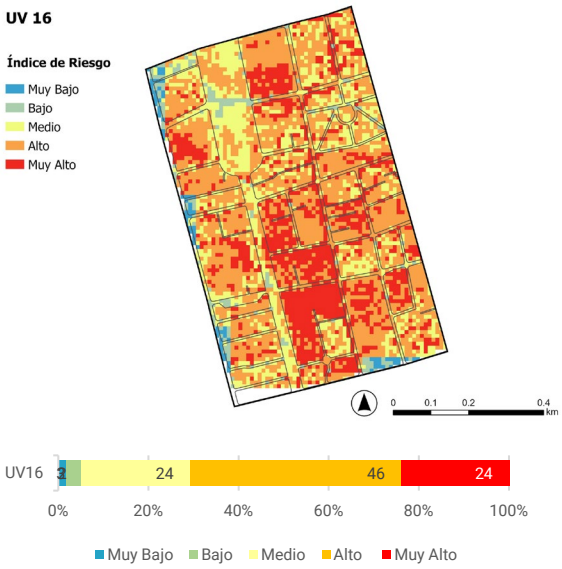
Juntas de vecinos	• Activas: Juntas Parque Bustamante y Claudio Arrau
Área	• 52,5 ha
Amenaza muy alta	• 12,1 ha (23,3%)
Exposición muy alta	• 15,7 ha (29,8%)
Riesgo muy alto	• 12,3 ha (23,6%)



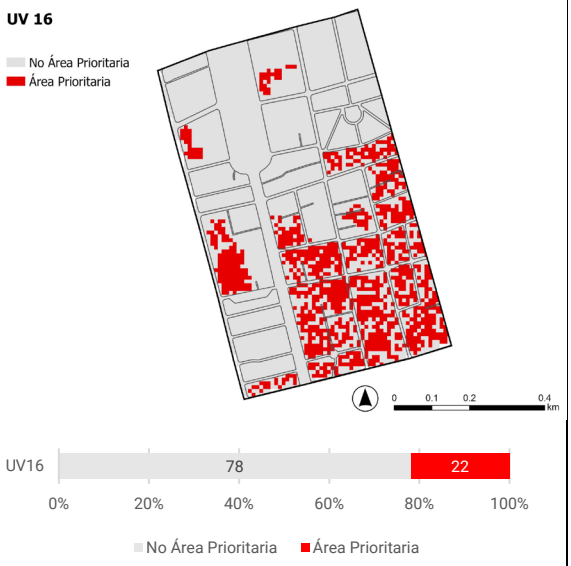


Comparativo: superficie de UV con riesgo **Alto** y **Muy Alto**

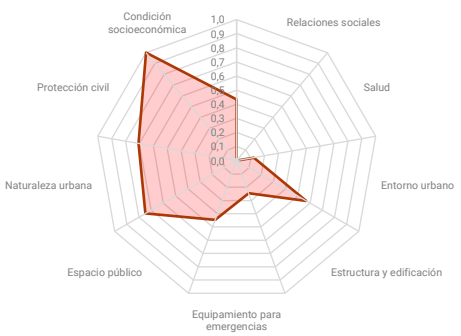
Zonas homogéneas de riesgo



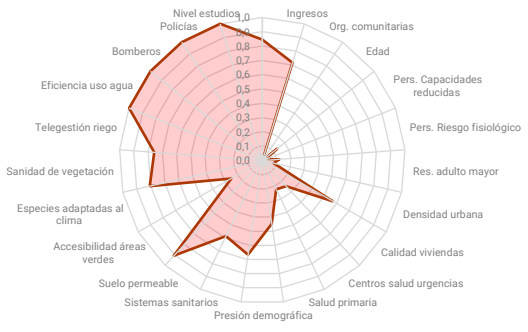
Áreas prioritarias



Vulnerabilidad por dimensión



Vulnerabilidad por componente



Perfil de riesgo

La unidad vecinal N°16 es la tercera a nivel comunal con valores más altos de riesgo. Un 46% de su superficie presenta valores de riesgo Alto y un 24% riesgo Muy Alto. Esta UV se encuentra particularmente amenazada ante eventos de inundaciones por colapso de colectores de aguas lluvias, dada su posición relativamente baja con respecto al territorio comunal y los flujos de escorrentía ante eventos de precipitaciones extremas. Además, esta unidad registró temperaturas máximas superficiales sobre los 40°C durante eventos de olas de calor.

En cuanto a vulnerabilidad, la mayor densidad urbana se localiza entre Vicuña Mackenna y Bustamante y corresponde además a una de las cuatro unidades vecinales de la comuna con mayor porcentaje de hogares de bajos ingresos, los que superan el 10 % hacia el sur de la UV. No presenta sistemas de telegestión de riego y la superficie de suelo permeable no supera el 9,6%. La presencia del Parque Bustamante contribuye al 57,4% de superficie con buena accesibilidad a áreas verdes. Además, esta UV destaca por una excelente cobertura de bebederos públicos del 99,5% y una buena accesibilidad a centros de salud.

Medidas de adaptación recomendadas

Medida de adaptación	Tipo de medida	Ámbito espacial primario	Ámbito espacial secundario	Amenaza primaria	Amenaza secundaria	Amenaza terciaria	Reducción del riesgo	Costo	Tiempo imp.
Recolección de aguas lluvias	Infraestructura	Edificaciones		Sequía	Inundación		3	1	3
Pavimentos permeables	Infraestructura	Áreas verdes y espacios públicos	Edificaciones	Inundación	Sequía	Sistema frontal	2	3	5
Enfriamiento evaporativo mediante fuentes de agua recreativas	Infraestructura	Áreas verdes y espacios públicos		Ola de calor			2	3	4
Planificación de sombras estructurales	Infraestructura	Áreas verdes y espacios públicos		Ola de calor			4	3	5
Enfriamiento pasivo en edificaciones	Estándar o normativa	Edificaciones		Ola de calor			2	4	4

Tabla 37. Perfil de riesgo UV 16. Fuente: elaboración propia.

IV. SIG CON PERFIL DE RIESGO Y MEDIDAS DE ADAPTACIÓN POR UNIDAD VECINAL

1. Estructura del SIG

Tanto el perfil de riesgo por unidad vecinal como las medidas recomendadas para cada una se incorporaron en una base de datos SIG en formato geodatabase (*.gdb) y un respaldo en formato shapefile (*.shp) y tabla (*.dbf). La información del respaldo es la misma que en la geodatabase por lo que en esta sección se describe sólo lo que corresponde a la geodatabase. La información se encuentra disponible en la carpeta SIG de los entregables digitales (ver Anexo 2). La estructura de carpeta es la siguiente:

Figura 102. Estructura de archivos para el perfil de riesgo. Fuente: elaboración propia.

La geotadabase “Perfiles_Riesgos.gdb” contiene los siguientes archivos:

Archivo	Formato / Tipo	Descripción
medidas_adaptacion_uv	Tabla	Tabla con medidas de adaptación recomendadas para cada unidad vecinal.
perfil_riesgo_uv	Feature Class	Archivo vectorial con el perfil de riesgo para cada unidad vecinal.
relate_tabla_medidas	Relationship Class	Regla que relaciona el archivo vectorial del perfil de riesgo vecinales con la tabla con medidas de adaptación.

Tabla 38. Archivos en la geodatabase “Perfiles_Riesgos.ddb”. Fuente: elaboración propia.

2. Campos de atributos

El archivo vectorial “perfil_riesgo_uv” posee 48 campos de información con los que se construyó el perfil de riesgo de cada unidad vecinal. Los campos de atributos se describen en la tabla a continuación:

Campos de atributos	Descripción	Dato
UV	Número de la unidad vecinal.	Numérico (1 a 16)
Area_UV	Área de la UV en hectáreas.	Numérico (ha)
Sup_ries_mb	Superficie en hectáreas de la UV por clase de riesgo “muy bajo”.	Numérico (ha)
Sup_ries_b	Superficie en hectáreas de la UV por clase de riesgo “bajo”.	

Campos de atributos	Descripción	Dato
Sup_ries_m	Superficie en hectáreas de la UV por clase de riesgo “medio”.	
Sup_ries_a	Superficie en hectáreas de la UV por clase de riesgo “alta”.	
Sup_ries_ma	Superficie en hectáreas de la UV por clase de riesgo “muy alta”.	
Pr_ries_mb	% de superficie de la UV por clase de riesgo “muy bajo”.	Porcentaje (%)
Pr_ries_b	% de superficie de la UV por clase de riesgo “bajo”.	
Pr_ries_m	% de superficie de la UV por clase de riesgo “medio”.	
Pr_ries_a	% de superficie de la UV por clase de riesgo “alto”.	
Pr_ries_ma	% de superficie de la UV por clase de riesgo “muy alto”.	
Sup_ap	Superficie en hectáreas de la UV que es “área prioritaria para la gestión del riesgo”.	Numérico (ha)
Pr_ap	% de superficie de la UV que es “área prioritaria para la gestión del riesgo”.	Porcentaje (%)
Sup_amen_a	Superficie en hectáreas de la UV en clase de amenaza “muy alta”.	Numérico (ha)
Pr_amen_a	% de superficie de la UV en clase de amenaza “muy alta”	Porcentaje (%)
Sup_expo_a	Superficie en hectáreas de la UV en clase de exposición “muy alta”.	Numérico (ha)
Pr_expo_a	% de superficie de la UV en clase de exposición “muy alta”	Porcentaje
Comp_vul_1	Componente de vulnerabilidad: Nivel de estudios.	Numérico: Valor normalizado de la vulnerabilidad para cada componente. Los valores son numéricos y van entre 0 y 1. A mayor valor, mayor es la vulnerabilidad.
Comp_vul_2	Componente de vulnerabilidad: Ingresos.	
Comp_vul_3	Componente de vulnerabilidad: Organizaciones comunitarias territoriales.	
Comp_vul_4	Componente de vulnerabilidad: Edad.	
Comp_vul_5	Componente de vulnerabilidad: Personas con capacidades reducidas.	
Comp_vul_6	Componente de vulnerabilidad: Personas con factores de riesgo fisiológico.	
Comp_vul_7	Componente de vulnerabilidad: Residencias de adulto mayor.	
Comp_vul_8	Componente de vulnerabilidad: Densidad urbana.	
Comp_vul_9	Componente de vulnerabilidad: Calidad de viviendas.	
Comp_vul_10	Componente de vulnerabilidad: Centros de salud con sala de urgencias.	
Comp_vul_11	Componente de vulnerabilidad: Salud primaria	
Comp_vul_12	Componente de vulnerabilidad: Presión demográfica.	
Comp_vul_13	Componente de vulnerabilidad: Sistemas sanitarios.	
Comp_vul_14	Componente de vulnerabilidad: Suelo permeable.	
Comp_vul_15	Componente de vulnerabilidad: Accesibilidad áreas verdes.	
Comp_vul_16	Componente de vulnerabilidad: Especies adaptadas al clima.	
Comp_vul_17	Componente de vulnerabilidad: Sanidad de la vegetación	
Comp_vul_18	Componente de vulnerabilidad: Telegestión del riego.	

Campos de atributos	Descripción	Dato
Comp_vul_19	Componente de vulnerabilidad: Eficiencia en el uso del agua.	
Comp_vul_20	Componente de vulnerabilidad: Bomberos.	
Comp_vul_21	Componente de vulnerabilidad: Policías	
Dim_vul_1	Dimensión de vulnerabilidad: Condición socioeconómica.	Numérico: Valor normalizado de la vulnerabilidad para cada dimensión. Los valores son numéricos y van entre 0 y 1. A mayor valor, mayor es la vulnerabilidad.
Dim_vul_2	Dimensión de vulnerabilidad: Relaciones sociales.	
Dim_vul_3	Dimensión de vulnerabilidad: Salud.	
Dim_vul_4	Dimensión de vulnerabilidad: Entorno urbano.	
Dim_vul_5	Dimensión de vulnerabilidad: Estructura y edificación.	
Dim_vul_6	Dimensión de vulnerabilidad: Equipamiento para emergencias.	
Dim_vul_7	Dimensión de vulnerabilidad: Espacio público.	
Dim_vul_8	Dimensión de vulnerabilidad: Naturaleza urbana.	
Dim_vul_9	Dimensión de vulnerabilidad: Protección civil.	

Tabla 39. Campos de atributos del archivo vectorial con el perfil de riesgo de las unidades vecinales. Fuente: elaboración propia.

El archivo tabular (tabla) “medidas_adaptacion_uv” con las medidas de adaptación recomendadas para cada unidad vecinal posee 11 campos de atributos, los que se detallan a continuación:

Campos de atributos	Descripción	Dato
UV	Número de la unidad vecinal.	Numérico (1 a 16)
Medida	Nombre de la medida de adaptación.	Nominal
Tipo	Individualiza la tipología de la medida.	Nominal: • Solución Basada en la Naturaleza • Programa • Infraestructura • Tecnología • Estándar o Normativa
Amb_esp_1	Ámbito espacial de aplicación primario.	Nominal: • Edificaciones • Áreas verdes y espacios públicos • Tejido urbano
Amb_esp_2	Ámbito espacial de aplicación secundario.	
Amenaza_1	Amenaza primaria.	Nominal: • Inundación • Ola de calor • Sistema frontal • Sequía
Amenaza_2	Amenaza secundaria.	
Amenaza_3	Amenaza terciaria.	
Red_riesgo	Evaluación de la reducción del riesgo.	Numérico:
Costo	Evaluación del costo.	

Campos de atributos	Descripción	Dato
Tiempo_imp	Evaluación del tiempo de implementación.	Puntaje que va de 1 a 5 en donde a mayor valor, mejor la evaluación en cada parámetro.

Tabla 40. Campos de atributos de la tabla con medidas de adaptación recomendadas por UV. Fuente: elaboración propia.

3. Operatividad

Tanto la geodatabase como el shapefile pueden ser desplegados en software SIG como ArcMap y ArcGIS Pro. El archivo se visualiza en la proyección “SIRGAS-Chile_UTM_Zone_19S” y como se observa en la imagen corresponde a la geometría de las Unidades Vecinales de la comuna de Providencia. En el ejemplo se puede observar una de las unidades vecinales (UV6) seleccionada y en el recuadro se aprecian los campos de atributos y sus valores.

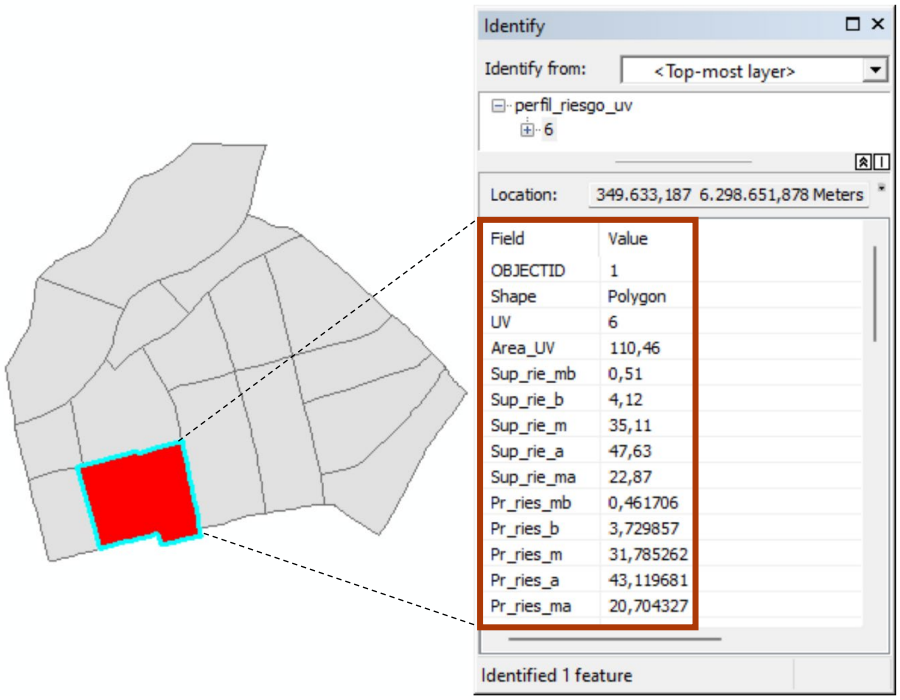


Figura 103. Visualización del archivo vectorial “perfil_riesgo_uv”. Fuente: elaboración propia.

La geodatabase permite generar relaciones entre objetos y tablas mediante reglas denominadas “Relationship Class” (clase de relación). Las clases de relación permiten explorar información adicional en un objeto vectorial al relacionarlo con otra tabla. La clase de relación se designa con el siguiente ícono en la geodatabase:

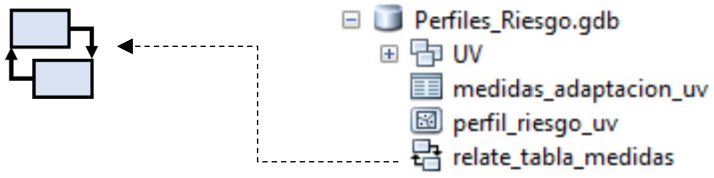


Figura 104. Ícono para una clase de relación. Fuente: elaboración propia.

Las relaciones pueden ser de uno-a-uno, es decir cada objeto vectorial y una fila en otra tabla, o relaciones más complejas de uno-a-varios (o varios-a-varios) entre un objeto vectorial y varias filas en otra tabla. Esta regla está embebida en la lógica interna de la geodatabase y no se perderá en la medida que no se eliminen los archivos que la componen.

En este caso se relacionó el archivo vectorial del perfil de riesgo por unidad vecinal (objetos) con la tabla que contiene las medidas de adaptación recomendadas, también, por unidad vecinal. Dado que se recomendaron cinco medidas de adaptación por unidad vecinal, esta es una relación de una-a-varios, es decir, cada unidad vecinal está relacionada con cinco filas, cada una correspondiente a una medida de adaptación y con campos de atributos asociados a esa medida.

Siguiendo con el ejemplo anterior (UV6), la figura ejemplifica la clase de relación existente en la geodatabase. Se observa la relación uno-a-varios, al relacionar la UV6 con cinco medidas de adaptación en la tabla relacionada. Esta operación puede ser realizada seleccionado una de las unidades vecinales en el archivo “perfil_riesgo_uv” y luego accionando (click) el ícono de clase de relación. Esta operación abrirá la tabla relacionada como se aprecia en la figura abajo. Así, esta geodatabase permite explorar en paralelo los campos del perfil de riesgo y las medidas de adaptación.

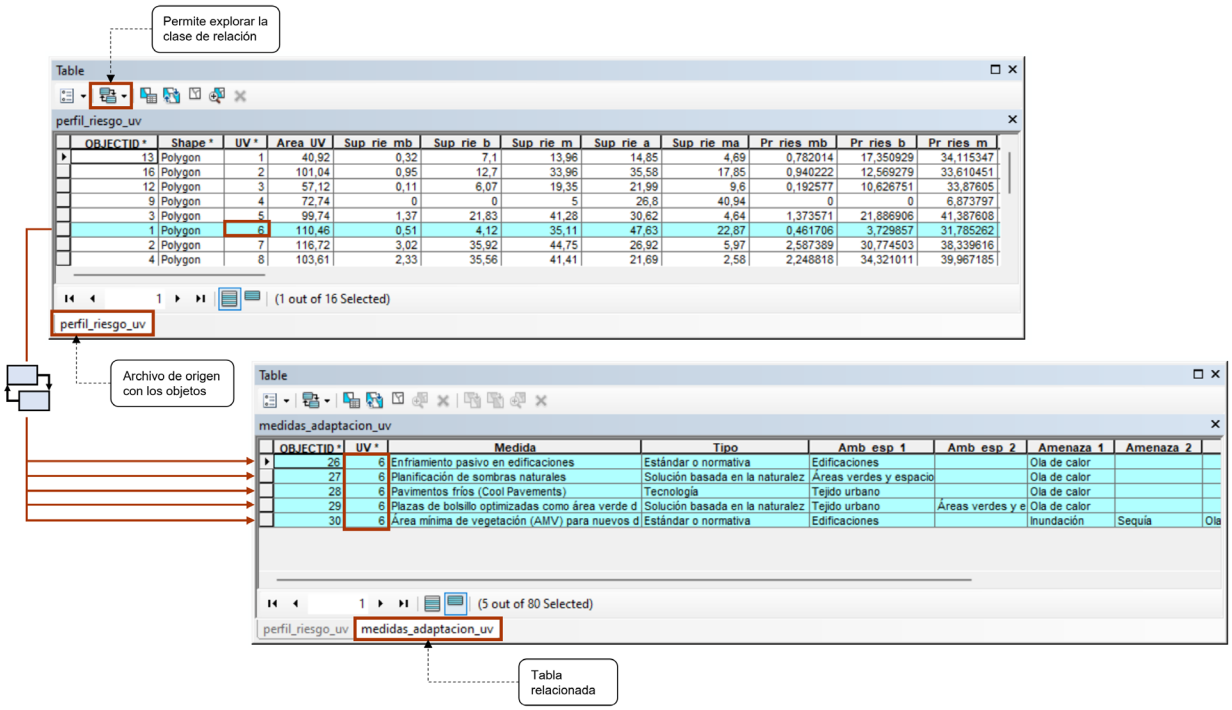


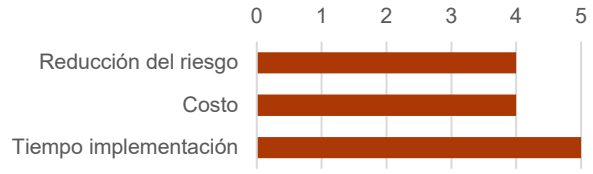
Figura 105. Clase de relación para explorar medidas de adaptación de unidades vecinales. Fuente: elaboración propia.

ANEXO 1. FICHAS CON MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Zanjas de infiltración con vegetación (Bioswales) — 01

Amenazas	
Tipo	SBN
Ámbito espacial	AV/EP

Evaluación



Descripción

Zanjas o canales de drenaje que retienen, infiltran y filtran la escorrentía superficial producto de las aguas lluvia desde las calles y la conducen a baja velocidad. Posee una ligera pendiente, una capa de vegetación, sustrato de material poroso y una tubería que conecta con los sistemas de drenaje de aguas lluvias. Estos deben priorizarse en zonas bajas o potencialmente inundables. Se localizan a lo largo de calles y veredas, preferentemente de zonas residenciales.

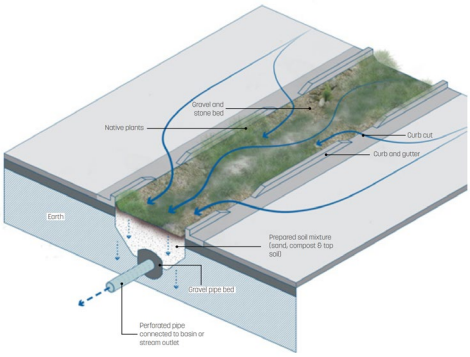


Figura 106. (izq) Bioswale en calle. Fuente: Mark M. Holeman Inc.
Figura 107. (der) Esquema isométrico de un Biowsale. Fuente: Sponge Collaborative.

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Pendiente máxima 4-5%.
- Profundidad mínima del nivel freático 60 cm.
- Si el suelo es arcilloso, este debe enmendarse para mejorar su permeabilidad.
- Área de drenaje máxima de 1 ha.
- Localizados en avenidas, calles y estacionamientos.
- Diseñados para tormentas de 2 y 10 años de 24 horas.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación de inundaciones pluviales. • Regulación de contaminantes en el suelo. • Regulación de los efectos de la sequía. • Promoción de la biodiversidad.	• Reducen entre un 10-20% de la escorrentía urbana. • Permite filtrar contaminantes en el agua mediante bioprocesos (70% sólidos suspendidos, 10-90% nitrógeno, 20-90% fósforo). • Reducen el costo de infraestructura de aguas lluvias. • Mejoran el entorno urbano al incorporar elementos de paisajismo. • Recargan las aguas subterráneas. • Generan hábitat para la biodiversidad.	• Porcentaje del total de metros lineales de calle o veredas priorizadas para la construcción de Bioswales con proyectos implementados.

Jardines de bioretención o jardines de lluvia (Bioretention, Raingardens)

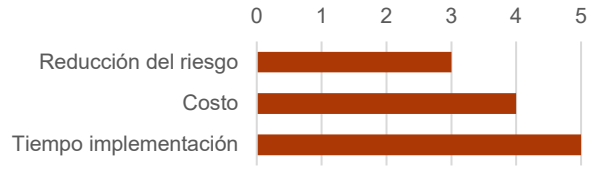
02

Amenazas

Tipo SBN

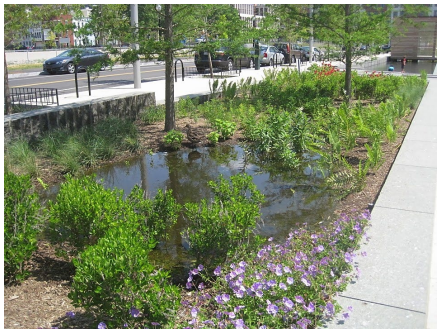
Ámbito espacial AV/EP ED

Evaluación



Descripción

Sistema de infiltración de agua que recoge, acumula y filtra volúmenes pequeños de aguas lluvias desde suelos impermeables en general. Destacan por la remoción de contaminantes mediante procesos de bio/fito remediación. Consiste en una depresión topográfica poco profunda (15-20 cm) donde se acumula el agua, sustrato de material poroso, mulch, vegetación usualmente perenne y un mecanismo de rebalse. En el subsuelo se dispone una tubería que conecta con los sistemas de drenaje de aguas lluvias o que permite la infiltración. Dependiendo de la ubicación, se incorpora una zona de pretratamiento (franja filtrante) como trampa de sedimentos o separación de grasas y aceites.



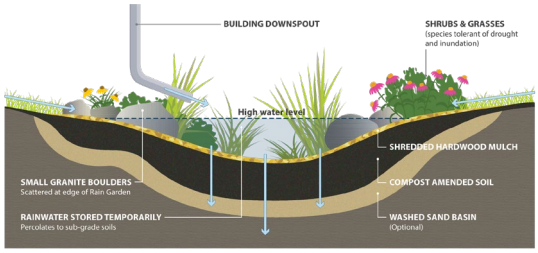


Figura 108. (izq) Jardín de lluvia en el espacio público. Fuente: Earthwatch.
Figura 109. (der) Corte esquemático de jardín de lluvia. Fuente: Toronto and Region Conservation Authority.

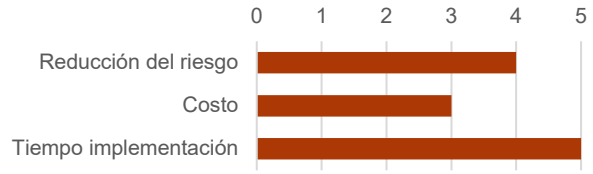
Criterios de factibilidad y/o diseño

- Terrenos relativamente planos.
- Profundidad mínima del nivel freático 60 cm.
- Si el suelo es arcilloso, este debe enmendarse para mejorar su permeabilidad.
- Tamaño debe ser entre 5-7% del área de drenaje.
- Áreas libres de proliferación de raíces de árboles y arbustos.
- Ubicación en torno a viviendas, estacionamientos y espacios residuales.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación de inundaciones pluviales. • Regulación de contaminantes en el suelo. • Regulación de los efectos de la sequía. • Promoción de la biodiversidad.	• Remueven sedimento (90%) nitrógeno (30-50%), fósforo (30-90%) y metales (40-90%). • Reducen el costo de infraestructura de aguas lluvias. • Mejoran el entorno urbano al incorporar elementos de paisajismo. • Recargan las aguas subterráneas. • Generan hábitat para la biodiversidad.	• Número de edificios de vivienda o viviendas unifamiliares con jardines de lluvia. • Número de espacios públicos con jardines de lluvia.

Jardineras de aguas lluvias (Stormwater Planters) 03

Amenazas		**Evaluación**
Tipo	SBN	
Ámbito espacial	AV/EP	



Descripción

Jardineras que utilizan vegetación para captar escorrentía urbana, infiltrarla, filtrarla y dirigirla hacia los sistemas de drenaje. Destacan por la remoción de contaminantes mediante procesos de bio/fito remediación. Se localizan entre la vereda y la calle y su diseño puede acomodar variaciones dependiendo de las características del espacio. Están compuestas por aperturas para el ingreso del agua, zona de pretratamiento (sedimentos, grasas, aceites), área de acumulación de agua, rebalse, sustrato poroso, vegetación y una tubería de drenaje subterránea que conecta con sistemas de drenaje o que permite la infiltración.

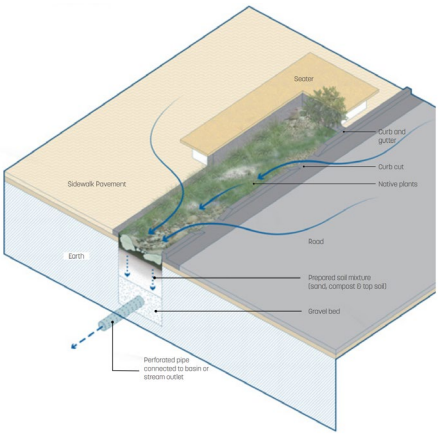


Figura 110. (izq) Stormwater Planter en Portland, EEUU. Fuente: Portland.gov.
Figura 111. (der) Esquema isométrico de un Stormwater Planter. Fuente: Sponge Collaborative.

Criterios de factibilidad y/o diseño

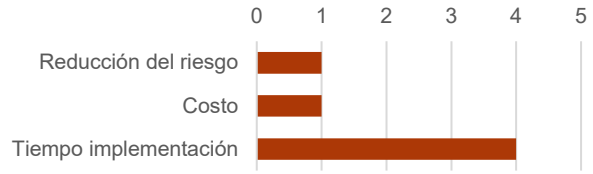
- Pendiente máxima del 15%.
- Profundidad mínima del nivel freático 120 cm.
- Si el suelo es arcilloso, este debe enmendarse para mejorar su permeabilidad.
- Adyacentes a edificios, en veredas amplias y estacionamientos.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación de inundaciones pluviales. • Regulación de contaminantes en el suelo. • Regulación de los efectos de la sequía. • Promoción de la biodiversidad.	• Reducen la escorrentía urbana. • Reducen el costo de infraestructura de aguas lluvias. • Mejoran el entorno urbano al incorporar elementos de paisajismo. • Generan un *buffer* entre calle y vereda. • Recargan las aguas subterráneas. • Generan hábitat para la biodiversidad.	• Porcentaje del total de metros lineales de zonas priorizadas para la construcción de Stormwater Planters con proyectos implementados.

Techos verdes (Green Roofs) 04

Amenazas	
Tipo	SBN
Ámbito espacial	ED

Evaluación



Descripción

Techo de un edificio que está total o parcialmente cubierto de vegetación, con un sustrato de crecimiento y una membrana impermeable. Permiten captar aguas lluvias y reducir la escorrentía urbana (mediante la evaporación y evapotranspiración), reducir las temperaturas localmente y generan espacios de esparcimiento adicionales. Se reconocen dos tipos: extensivos e intensivos. Los primeros tienen un sustrato delgado, requieren una mantención mínima y no son accesibles, mientras que los segundos requieren mayor mantención (irrigación, manejo), pero permiten una mayor diversidad de plantas y son transitables. Los techos verdes no son apropiados para la infiltración de aguas lluvias, puesto que tienden a concentrar nutrientes como fósforo, por lo que el exceso de agua debe dirigirse hacia los sistemas de drenaje y posterior tratamiento.

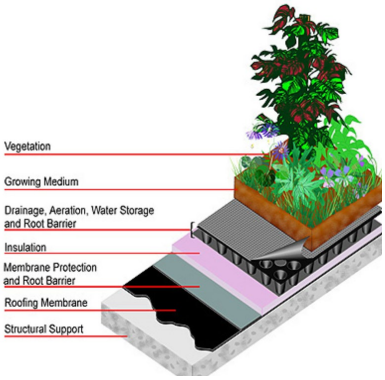


Figura 112. (izq) Techo verde en New York. Fuente: The Nature Conservancy.
Figura 113. (der) Componentes de un techo intensivo. Fuente: Greenroofs.com

Criterios de factibilidad y/o diseño

- En zonas de sequía y escasez hídrica, sólo considerarlos en la medida que su irrigación pueda realizarse con aguas grises recicladas.
- Techos extensivos pueden tener pendiente (30% máx.). Techos intensivos deben ser planos con leve pendiente.
- El techo debe tener integridad estructural.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación de inundaciones pluviales. • Regulación del calor urbano. • Promoción de la biodiversidad.	• Reducen la escorrentía urbana (capturan 50-90% del agua que escurre de un techo convencional) • Reducen temperaturas y efecto isla de calor. • Funcionan como aislante térmico, reduciendo las necesidades de climatización. • Generan hábitat para la biodiversidad. • Generan nuevos espacios de esparcimiento.	• Número de nuevos edificios de vivienda con techos verdes. • Número de edificios municipales con techos verdes.

Área mínima de vegetación (AMV) para nuevos desarrollos (Green Area Ratio – GAR)

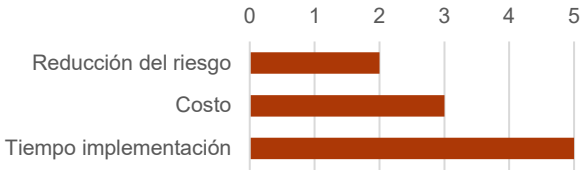
05

Amenazas

Tipo E/N

Ámbito espacial ED

Evaluación



Descripción

Requerimiento normativo que exige un porcentaje mínimo de zonas de zonas de vegetación y suelos permeables (elementos de paisaje) dentro del terreno en nuevos desarrollos de vivienda, oficina y/o comerciales. Normativamente, el AMV se puede conceptualizar como un factor que es una razón entre los elementos de paisaje y el área del terreno. Provee beneficios múltiples como reducir la escorrentía superficial, reducir el efecto isla de calor, mejorar habitabilidad y el entorno urbano.

$$\boldsymbol{AMV} = \frac{\begin{matrix} EP\ 1\ (x\ multiplicador) \\ + \\ EP\ 2\ (x\ multiplicador)\ \ldots \end{matrix}}{Área\ de\ terreno}$$

EP: elemento de paisaje

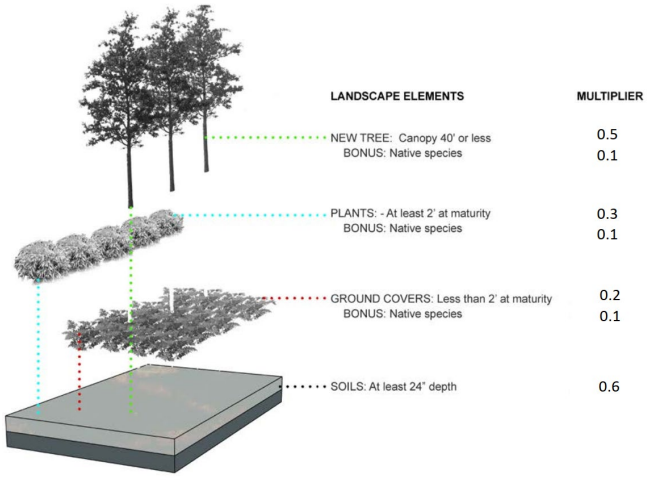


Figura 114. (izq) Fórmula para cálculo de AMV.
Figura 115. (der) Ejemplo de cálculo de AMV con multiplicadores. Fuente: DC.gov.

Criterios de factibilidad y/o diseño

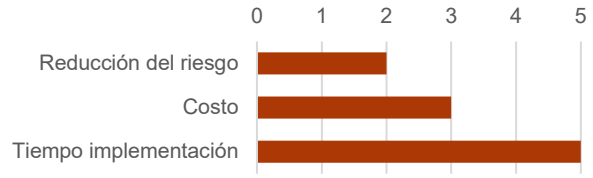
- Diferenciación del estándar por uso de suelo utilizando criterios como tamaño de predio, coeficiente de ocupación de suelo número de viviendas, cantidad de estacionamientos, entre otros.
- Establecer condiciones para tipos de área verde en cuanto a: profundidad mínima del suelo, tiempos de establecimiento de la vegetación, tipo y características de la vegetación al momento de plantarse.
- Para el cálculo del AMV considerar: (1) equivalentes de área según diámetros de tronco en el caso de árboles y superficie planar para arbustos, gramíneas y herbáceas, (2) un máximo del AMV que puede ser pavimento permeable (no más de 1/3 para mantener las características de área verde) y (3) multiplicadores (factores) según tipos de elementos de paisaje.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación de inundaciones pluviales. • Regulación de los efectos de la sequía. • Regulación del calor urbano. • Promoción de la biodiversidad.	• Reduce la escorrentía urbana. • Reduce temperaturas y efecto isla de calor. • Genera hábitat para la biodiversidad.	• Número de nuevos desarrollos que cumplen con estándar de AMV.

Pavimentos permeables

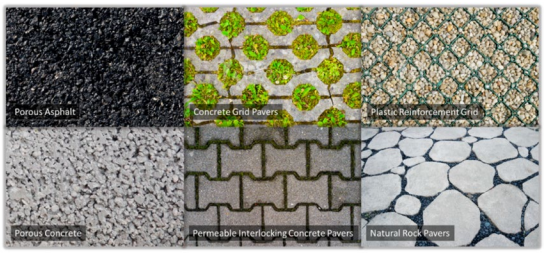
06

Amenazas		**Evaluación**
Tipo	IF	
Ámbito espacial	AV/EP ED	



Descripción

Pavimentos con un mayor contenido de aire, cuya porosidad permite la infiltración de aguas lluvias y escorrentía superficial. Incluye soluciones continuas como asfaltos y concreto y soluciones celulares como empedrados, bloques y reticulados (p. ej: adocésped). Poseen tres componentes: superficie permeable, almacenamiento (áridos gruesos), geotextil y descarga (drenaje natural o por medio de tubería perforada). Pueden ser utilizados en zonas de estacionamiento, accesos vehiculares, veredas, ciclovías, y explanadas en plazas y parques.



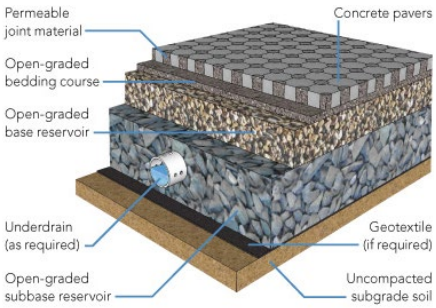


Figura 116. (izq) Distintos tipos de pavimentos permeables. Fuente: Sprouse et. Al. (2020).
Figura 117. (der) Corte de un sistema de pavimento permeable. Fuente: Caltrans.

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Permeabilidad mínima del suelo de 0,5 cm/hora.
- Pendientes suaves de no más de 5%.
- Profundidad mínima del nivel freático 90 cm.
- Evitar en lugares con roca madre superficial o suelos compactados.
- Evitar en lugares con altas solicitaciones (cargas).
- Evitar pavimentos permeables en zonas con alta concentración de contaminantes (carga combustible, lavado de autos, mercados, talleres mecánicos) y sedimentos.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación de inundaciones pluviales. • Regulación de los efectos de la sequía.	• Reducen la escorrentía urbana. • Recargan aguas subterráneas (infiltran 70-80% de la lluvia anual) • Reducen la carga de contaminantes (80-95% de los sólidos suspendidos, 65% fósforo, 80-85% nitrógeno) • Reducen necesidad de mantenimiento. • Reducen la necesidad de sistema de drenaje tradicionales. • Mejoramiento estético del entorno urbano.	• Porcentaje de superficie de manzana con pavimentos permeables. • Número de plazas o parques con pavimentos permeables. • Número de nuevos desarrollos con 25, 50 o 100% de sus superficies duras expuestas con pavimentos permeables.

Sistemas de infiltración subterránea

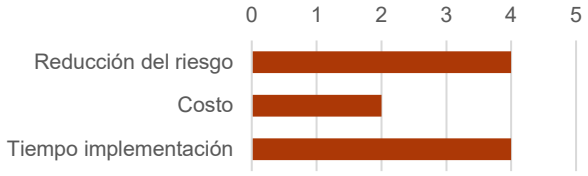
07

Amenazas

Tipo IF

Ámbito espacial TU

Evaluación



Descripción

Sistema de infiltración de aguas lluvias que almacena temporalmente la escorrentía urbana bajo el suelo en un estructura resistente y porosa, para luego infiltrarla lentamente. Pude ser localizada bajo zonas de tráfico y solicitación estructural como veredas y calles, facilitando la infiltración de agua hacia los sistemas radiculares de los árboles y la napa subterránea. Existen diversos tipos como zanjas (lineales), pozos (puntual), cámaras (estructuras en serie de plástico o concreto) y tuberías perforadas (lineal). Están conformadas por una apertura para el ingreso de agua, pretratamiento (sedimento, aceites/grasas), estructura de acumulación, geotextil y un rebalse conectado a los sistemas de drenaje.

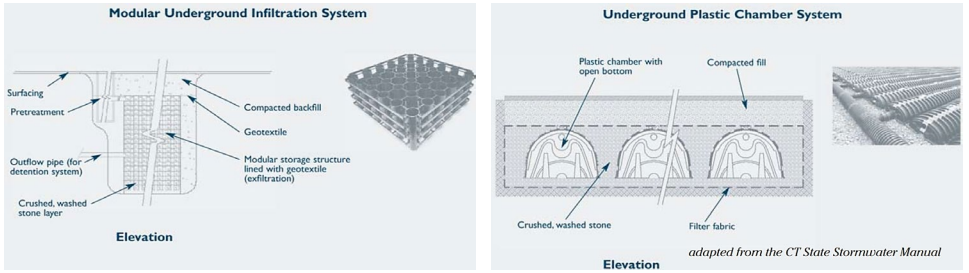


Figura 118. (sup) Dos tipos de infiltración subterránea. Fuente: MA Stormwater Handbook.
Figura 119. (inf) Ejemplo de infiltración subterránea tipo tubería perforada. Fuente: Caltrans.

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Pueden estar localizados en zonas de tráfico.
- Área de drenaje máxima de 1 ha.
- Deben instalarse sobre suelos permeables y donde la napa subterránea está por debajo de las estructuras (90+ cm).
- Considerar pretratamiento, al menos que la escorrentía esté libre de sedimentos

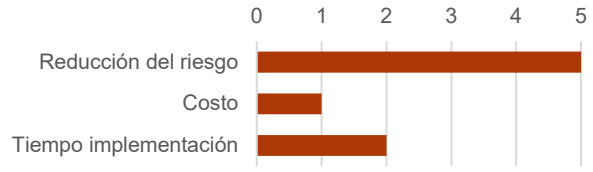
Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación de inundaciones pluviales. • Regulación de los efectos de la sequía.	• Reducen la escorrentía urbana. • Recargan las aguas subterráneas. • Reducen la carga de contaminantes (80% de los sólidos suspendidos). • Reducen necesidad de mantenimiento. • Reducen la necesidad de sistemas de drenaje tradicionales.	• Número de espacios públicos con sistemas de infiltración subterránea.

Renaturalización de ribera y lecho de río

08

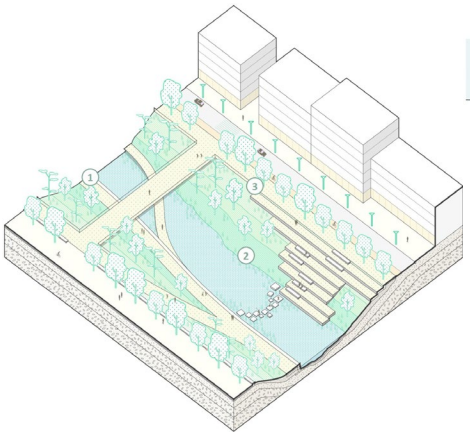
Amenazas	
Tipo	SBN
Ámbito espacial	TU AV/EP

Evaluación



Descripción

La estructura natural de los ríos, incluyendo meandros, piedras, sedimentos, vegetación y planicie de inundación, permite resguardar funciones ecológicas clave y, con ello, otorgar servicios ecosistémicos importantes para la población como la regulación de inundaciones y refugio para la biodiversidad. El objetivo es rehabilitar, restaurar y mejorar la estructura y dinámicas hidrológicas y ecológicas del río, considerando las limitaciones de espacio de los ríos urbanos. Es también una oportunidad de habilitar la ribera como espacio público recreacional y paisajístico para los habitantes.



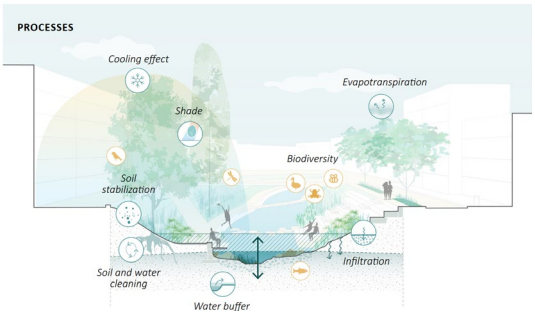


Figura 120. (izq) Esquema programático de una renaturalización. Fuente: GFDRR, World Bank.
Figura 121. (inf) Servicios y beneficios de la renaturalización. Fuente: GFDRR, World Bank.

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Se deben modificar los cuerpos legales para intervenir la caja del río.
- Antes de la renaturalización asegurar una categoría de protección como, por ejemplo, la de Humedal Urbano.
- Utilizar criterios de temporalidad de uso para ciertos espacios, considerando la estacionalidad del volumen de agua (p. ej: zonas inundables).

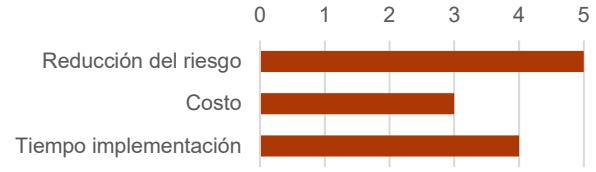
Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación de inundaciones pluviales. • Regulación de inundaciones fluviales. • Regulación de los efectos de la sequía. • Regulación del calor urbano. • Promoción de la biodiversidad.	• Reduce la escorrentía urbana. • Promueve un balance hidrológico que mantiene la recarga de aguas subterráneas. • Genera espacio público y áreas verdes. • Provee espacios para el turismo, recreación e interacción social.	• Kilómetros o metros lineales de río renaturalizado.

Arborización urbana priorizada

09

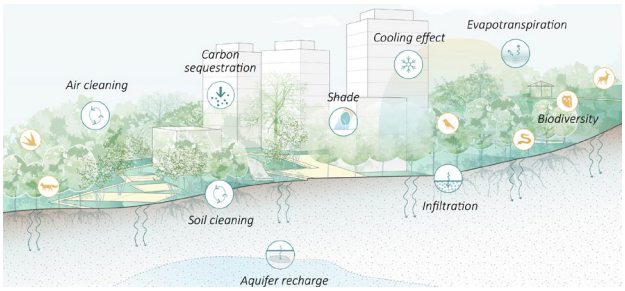
Amenazas	
Tipo	SBN
Ámbito espacial	TU AV/EP

Evaluación



Descripción

Plan o programa recurrente de remplazo de árboles o plantación de nuevos árboles en veredas, plazas y parques de la ciudad. Debe considerar especies adaptadas al clima local, considerando las proyecciones de cambio climático, y priorizar la plantación en zonas donde las T° son mayores, existe mayor vulnerabilidad de la población y hay una menor cobertura arbórea. Dichos parámetros y metas de cobertura arbórea permitirían reducir la temperatura a nivel local mediante sombra y evapotranspiración (enfriamiento evaporativo) hasta en 7°C.



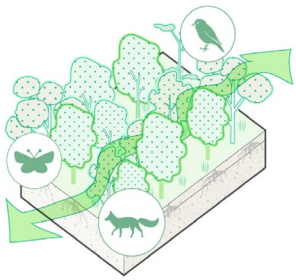


Figura 122. (inf) Servicios ecosistémicos de la arborización. Fuente: GFDRR, World Bank.

Criterios de factibilidad y/o diseño

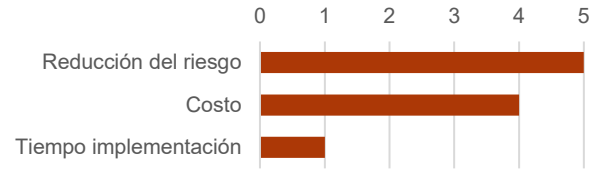
- Considerar especies con capacidad de adaptación al cambio climático.
- Considerar diversidad estructural por estratos: coberturas, sotobosque y copa.
- Establecer estándares mínimos de tamaño de árbol al plantar (Diámetro de Altura al Pecho o DAP), preparación del suelo, ubicación y distancia, tamaño de hoyadura y alcorque, uso de tutores, riego y mantención (poda).
- Priorizar zonas con baja cobertura arbórea, altas T° superficiales y presencia de grupos de riesgo (niños, adultos mayores) y personas con riesgo fisiológico.
- Priorizar zonas por esperanza de vida útil (EVU) del arbolado, lo que se puede evaluar con parámetros de salud, servicios ecosistémicos y riesgo comunitario. Permite estrategias de largo plazo e identificar la disminución de las poblaciones.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación del calor urbano. • Regulación de calidad del aire. • Regulación de los vientos a escala local. • Promoción de la biodiversidad. • Secuestro y almacenamiento de carbono.	• Reducen temperaturas y efecto isla de calor. • Reducen la necesidad de climatización en edificaciones. • Generan hábitat para la biodiversidad. • Mejoran las condiciones de infiltración del suelo. • Mejoran la calidad del espacio público para peatones. • Incrementan la plusvalía.	• Porcentaje de cobertura arbórea por unidad de área (unidad: calle, parque, plaza unidad vecinal o comuna). • Reducción de T° superficial a 5, 10, 15 años de ejecución de programa de arborización. • Número de árboles sanos (según monitoreo de “defectos”). • Contenido de humedad del suelo sobre umbral durante la época de crecimiento (50%). • Superficie con diversidad estructural. • Métricas de conectividad ecológica.

Techos fríos (Cool Roofs) 10

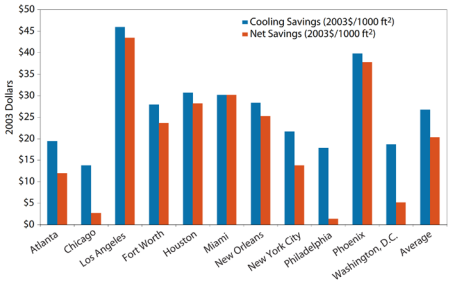
Amenazas	
Tipo	TE
Ámbito espacial	ED

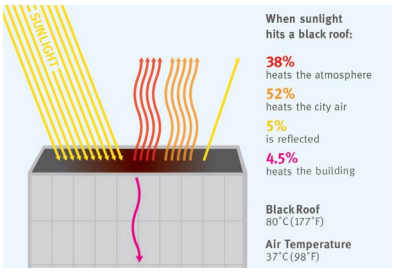
Evaluación



Descripción

Techos de alta reflectancia solar (albedo) y emisividad térmica. Ayudan a reflejar la luz solar y disipar el calor hacia la atmósfera. Estas características permiten que un techo frío esté entre 28-33°C más frío que un techo convencional, reduciendo el efecto isla de calor. Adicionalmente, permiten reducir la conducción del calor hacia la edificación, disminuyendo los requerimientos energéticos para sistemas de aire acondicionado al interior de los edificios. Existen diversos tipos, tales como aditivos, usualmente de colores claros, membranas, tejas y palmetas o pastelones.





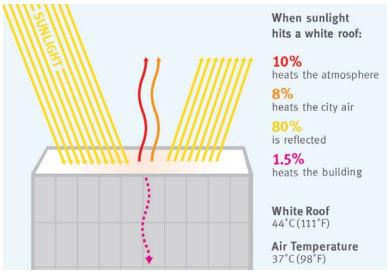


Figura 123. (izq sup) Techo techos fríos. Fuente: JLC Online, Waterproof Magazine.
Figura 124. (izq Inf) Ahorros cada 90m2 de techo frío en ciudades de EEUU. Valor neto incorpora los gastos adicionales por la pérdida de calor en invierno producto del techo frio. Fuente: EPA.
Figura 125. (der) Balance energético techo convencional vs techo frío. Fuente: coolrooftoolkit.org

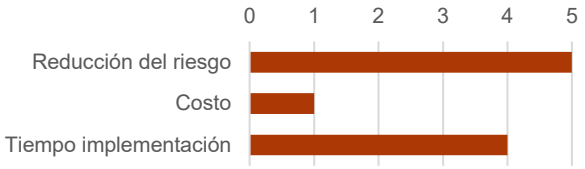
Criterios de factibilidad y/o diseño

- Pueden ser aplicados en techos planos o con pendiente.
- Priorizar edificios existentes y con grandes superficies de techo.
- Priorizar en zonas con altas T° superficiales, presencia de grupos de riesgo (niños, adultos mayores) y personas con riesgo fisiológico.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación del calor urbano.	• Reducen temperaturas y efecto isla de calor. • Ahorro de $5USD / m^2 o 20-30% de la demanda energética anual para enfriar. • Mejoran el confort térmico al interior de edificaciones (hasta 1,3°C menos que la temperatura exterior).	• Porcentaje de superficie de techo con sistema de techo frío a escala comunal. • Porcentaje de superficie total de techo por manzana con techo frío. • Número de edificios con techos fríos.

Pavimentos fríos (Cool Pavements) 11

Amenazas		**Evaluación**
Tipo	TE	
Ámbito espacial	TU	



Descripción

Pavimentos de alta reflectancia solar (albedo) y emisividad térmica. Ayudan a reflejar la luz solar y disipar el calor hacia la atmósfera incorporando agregados, resinas o pigmentos. Los pavimentos permeables, dada su porosidad, también pueden reducir las temperaturas por evaporación cuando están húmedos. También se consideran pavimentos fríos aquellos que están sombreados por vegetación u otras estructuras. Los pavimentos tradicionales pueden alcanzar temperaturas de 48-67°C y almacenan el calor para liberarlo durante la noche. Dada la gran área de calles en la ciudad, su aplicación puede ayudar a reducir la T° local.

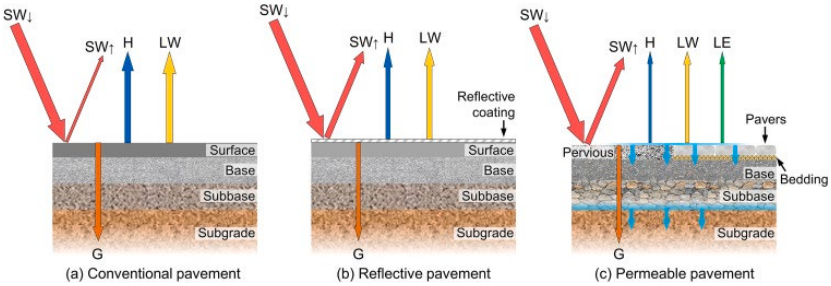


Figura 126. (sup) Balance para 3 tipos de pavimento: SW↓ - SW↑ + LW = G + H + LE, donde SW↓, SW↑, LW, G, H y LE denotan la radiación solar descendente, la radiación solar ascendente (reflejada), la radiación de onda larga neta, la conducción de calor, el flujo de calor sensible y el flujo de calor latente, respectivamente. Fuente: Wang et al.
Figura 127. (inf) Aplicación de revestimiento reflectante. Fuente: IRF.

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Priorizar zonas con baja cobertura arbórea, altas T° superficiales, presencia de grupos de riesgo (niños, adultos mayores) y personas con riesgo fisiológico.

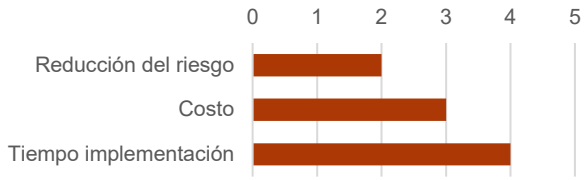
Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación del calor urbano.	• Reducen temperaturas y efecto isla de calor. • Un incremento del 10 a 35% de la reflectancia solar de los pavimentos, puede reducir la T° en 0,6°C. • Mejoran el confort térmico en el espacio público. • Aumentan la vida útil de los pavimentos. • Mejoran visibilidad en ruta por la alta reflectancia.	• Kilómetros lineales de calles o veredas con pavimentos fríos. • Porcentaje de superficies duras, excluidos techos, con pavimentos fríos.

Enfriamiento evaporativo mediante fuentes de agua recreativas

12

Amenazas	
Tipo	IF
Ámbito espacial	AV/EP

Evaluación



Descripción

Consiste en la utilización de agua para enfriar el ambiente urbano. El efecto de enfriamiento se produce por la evaporación del agua en movimiento, lo que se denomina enfriamiento evaporativo. El diseño permite una gran variedad de elementos de agua como fuentes recreativas, cuerpos de agua, cortinas de agua y rociadores de agua atomizada. Si bien, el efecto de enfriamiento es local, estas estrategias proveen alivio del calor en forma inmediata y es más efectivo en la medida que hay interacción directa entre las personas y el agua.

Figura 128. (izq. sup) Parque Te Boelaerpark, Antwerp, Bélgica. Fuente: WLA.
Figura 129. (der sup) Parque Water Circle, Normal, Illinois (Detalle A). Fuente: Urban Blue Grids.
Figura 130. (izq inf) Sistema de fitodepuración Water Circle. Fuente: Urban Blue Grids.
Figura 131. (der inf) Parque Water Circle, Normal, Illinois (Detalle B). Fuente: Urban Blue Grids

Criterios de factibilidad y/o diseño

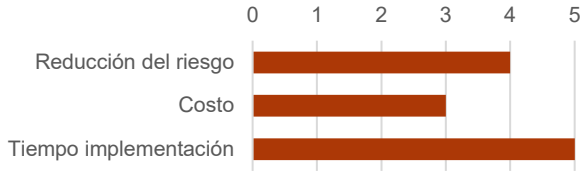
- Considerar instalación en zonas de alta afluencia pública en parques y plazas.
- Deben incluir sistemas de purificación como filtros de luz UV y fitodepuración para prevenir problemas a la salud por ingesta de agua en mal estado,

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación del calor urbano.	• Reducen temperaturas y efecto isla de calor. • Fuentes y sistemas de atomización de agua pueden bajar las temperaturas entre 0,7 y 3°C. • Mejoran la calidad del espacio público. • Proveen espacios para el turismo, recreación e interacción social.	• Número de parque o plazas con fuentes recreativas. • Número de fuentes recreativas.

Planificación de sombras estructurales

13

Amenazas		**Evaluación**
Tipo	IF	
Ámbito espacial	AV/EP	



Descripción

Estructuras que permiten sombrear tipologías de espacio público para generar confort térmico o termorregulación en días con altas temperaturas. Se pueden asociar a mobiliario urbano y pueden combinar diversos diseños y materialidades. Algunos ejemplos incluyen cubiertas livianas como carpas y telas y estructuras como parrones, pérgolas y muros.

Figura 132. Tipos de sombras estructurales. Fuente: Plan de sombras Tel Aviv.

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Establecer calidad de sombras por tipo de estructura y material según parámetros de: T°, humedad, reflectancia, emisividad, transmisión de luz, protección UV, vida útil y mantención.
- Utilizar factores de sombra (área sombra / área total del espacio) según tipo de espacio y afluencia de público (ver medida 33).
- La necesidad de sombra debe decidirse mediante la modelación de sombras en el día según volumetría urbana, verificando si se cumplen los factores definidos.

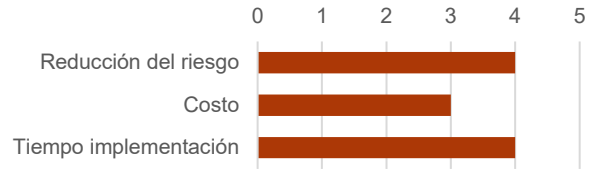
Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación del calor urbano.	• Reducen temperaturas y efecto isla de calor. • Mejoran la calidad del espacio público. • Reducen el riesgo de enfermedades a la piel.	• Porcentaje de sombra estructural en espacios públicos (razón entre área de sombra y área total del espacio público).

Planificación de sombras naturales

14

Amenazas	
Tipo	SBN
Ámbito espacial	AV/EP

Evaluación



Descripción

Consiste en la generación de sombras en el espacio público mediante vegetación para generar confort térmico o termorregulación en días con altas temperaturas. Dado que el objetivo es la generación de sombra, la selección de especies debe estar ligada con la calidad de la sombra deseada, las particularidades morfológicas del espacio y la urgencia (tiempo). En muchos casos los árboles cumplirán la función, pero también pueden incorporarse plantas trepadoras en conjunción con estructuras como parrones o pérgolas, así como especies de rápido crecimiento.

Trees	Lagerstro-emia	Delonix regia	Quercus ithabur-ensis	Ficus microcarpa
Temp. [compared to tree shade]				
Humidity [compared to air humidity]				
Heat absorption [absolute]				
Wind [relative to existing wind]				
Light transmission [through the element]				
UV radiation protection				
Lifespan				
Maintenance				
Crown density				
Crown diameter	5 M	10 M	10 M	15 M
Habitat	7 M³	30 M³	30 M³	30 M³
Recommended spacing	6 M	10 M	10 M	15 M

Legend: 1 – Adequate; 2 – Fair / average; 3 – Very good

Microclimate | Comfort and health | Maintenance | Crown

Figura 133. Diversas calidades de sombra dadas por las características de la especie seleccionada y tabla con criterios para evaluar calidad de sombra. Fuente: Plan de sombras Tel Aviv.

Criterios de factibilidad y/o diseño

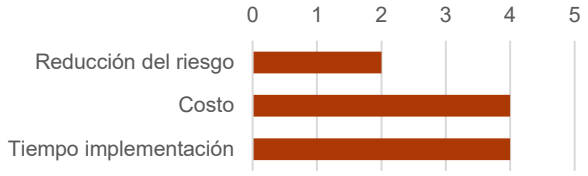
- Establecer calidad de sombras considerando (1) microclima, (2) confort, (3) mantención y (4) parámetros de la especie. Los parámetros asociados incluyen: (1) T°, humedad, reflectancia, emisividad, (2) transmisión de luz, protección UV, (3) vida útil, manejo y (4) dimensiones, forma y tasa de crecimiento de la especie.
- Utilizar factores de sombra (área sombra / área total del espacio) según tipo de espacio y afluencia de público (ver medida 34).
- La necesidad de sombra debe decidirse mediante la modelación de sombras en el día según volumetría urbana, verificando si se cumplen los factores definidos.
- Considerar sombras temporales durante la etapa de crecimiento de la vegetación.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación del calor urbano.	• Reducen temperaturas y efecto isla de calor. • Mejoran la calidad del espacio público. • Reducen el riesgo de enfermedades a la piel.	• Porcentaje de sombra natural en espacios públicos (razón entre área de sombra y área total del espacio público).

Enfriamiento pasivo en edificaciones

15

Amenazas		**Evaluación**
Tipo	E/N	
Ámbito espacial	ED	



Descripción

Incorporación de estrategias y elementos que mejoren el confort térmico tales como: celosías, sombras exteriores (persianas, toldos), ventilación cruzada, aislación térmica, ventanas termopanel, ventiladores de techo, entre otras. Enfocado en edificaciones nuevas.

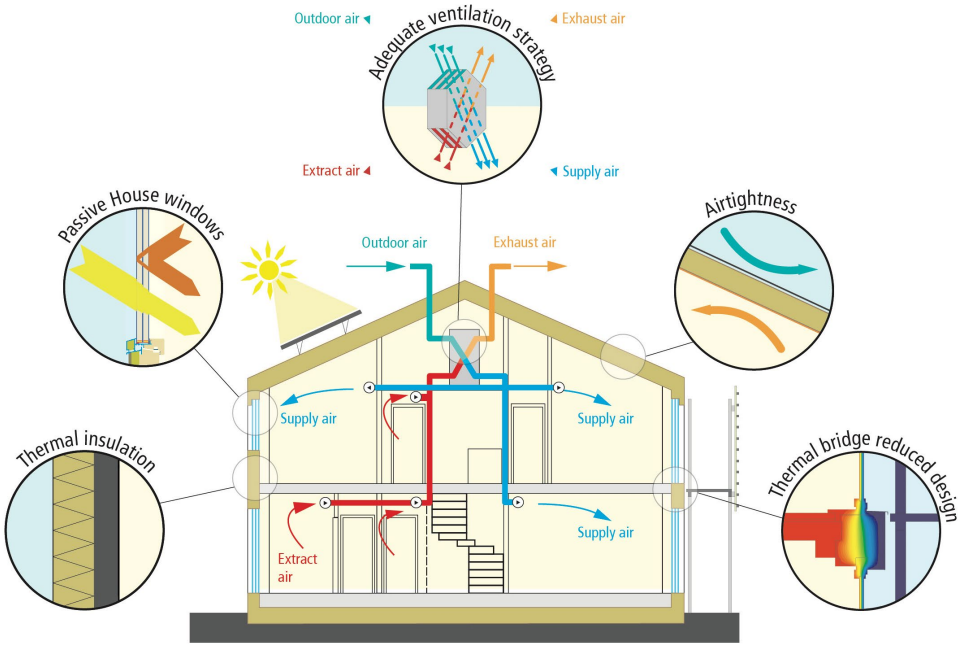


Figura 134. Cinco estrategias para una vivienda pasiva. Fuente: PassivHaus

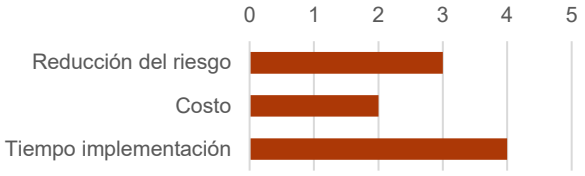
Criterios de factibilidad y/o diseño

- Considerar estrategias de: (1) diseño de la envolvente (muros, cubiertas, pisos, puentes térmicos, ventanas y filtración de aire), (2) ventilación natural, (3) protección solar e (4) iluminación natural.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación del calor.	• Reducen el impacto a la salud de las personas producto de las altas temperaturas. • Proveen alivio frente al calor. • Generan ahorros en la demanda energética anual para enfriar. • Mejoran el confort térmico al interior de edificaciones.	• Número de viviendas con diseño pasivo. • Número de viviendas con certificación de diseño pasivo (p. ej: PassivHaus)

Enfriamiento activo en edificaciones	16

Amenazas		**Evaluación**
Tipo	E/N	
Ámbito espacial	ED	



Descripción

Incorporación de unidades de aire acondicionado (AC) y/o bombas de calor en edificios de vivienda nuevos. El AC utiliza un líquido refrigerante el que se evapora y condensa para transferir calor. Posee una unidad interior (evaporador) que extrae el aire caliente y otra exterior que expulsa el aire caliente. Las bombas de calor permiten absorber y/o entregar calor desde diversas fuentes: aire, tierra (geotérmica) o agua. Para enfriar, las bombas de calor deben utilizar una fuente de menor temperatura. Se puede evaluar la obligatoriedad de incorporar AC en función del uso de suelo y otros parámetros como densidades y/o carga de ocupación. Enfocado en edificaciones nuevas.

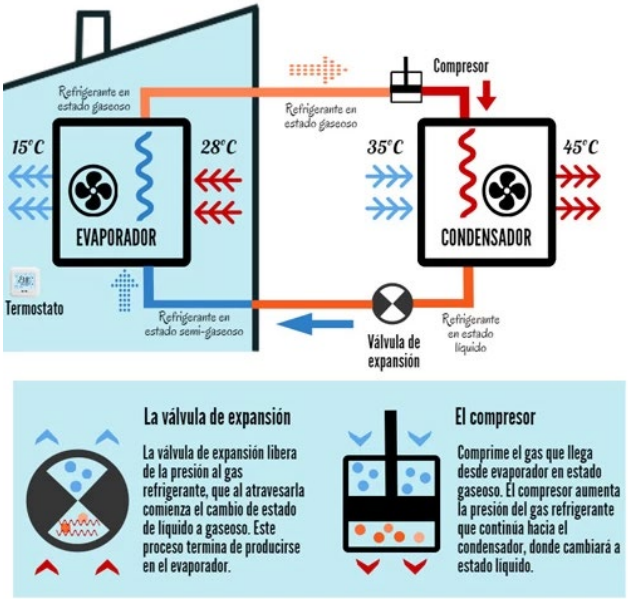


Figura 135. Esquema funcionamiento de aire acondicionado. Fuente: caloryfrio.com

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Un programa o normativa que implique un aumento masivo de sistemas de enfriamiento, implicaría una mayor demanda energética a nivel comunal. Dicho aumento debe considerase a la hora de planificar la dotación del servicio.
- Considerar directrices de diseño para evitar la contaminación visual de los sistemas con unidades exteriores.

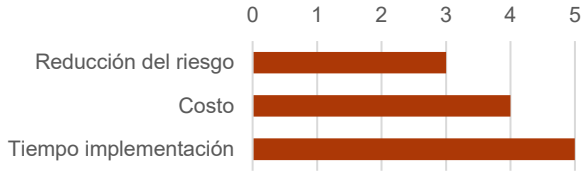
Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación del calor.	• Reducen el impacto a la salud de las personas producto de las altas temperaturas. • Provee alivio frente al calor. • Mejoran el confort térmico al interior de edificaciones.	• Número de viviendas o proyectos inmobiliarios con sistemas de enfriamiento.

Puntos de hidratación

17

Amenazas	
Tipo	IF
Ámbito espacial	AV/EP

Evaluación



Descripción

Mantenerse hidratado es una de las medidas más importantes frente a eventos de altas temperaturas. Esta medida consiste en establecer y consolidar una red funcional de puntos de hidratación a nivel urbano, localizadas en puntos estratégicos como parques, plazas, edificios públicos y zonas de alto tránsito peatonal.

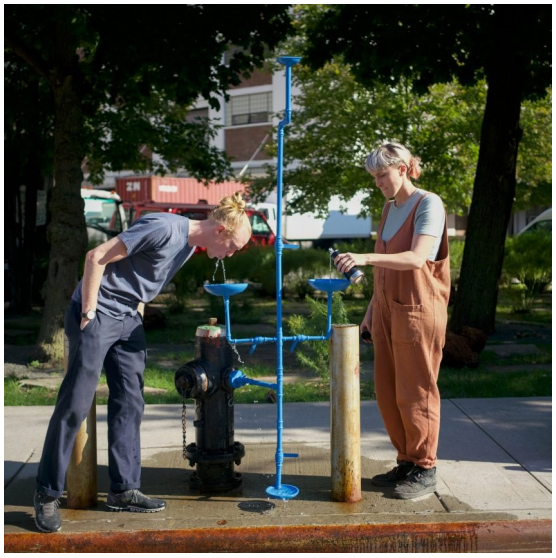


Figura 136. (izq) Grifo de calle adaptado como punto de hidratación (New York). Fuente: dezeen.com
Figura 137. (der) Grifo de calle con punto de hidratación como función adicional. Fuente: dezeen.com

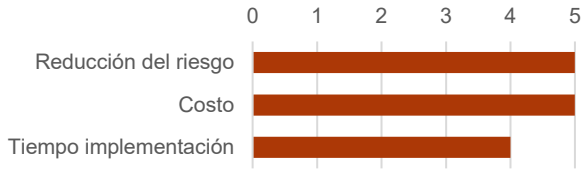
Criterios de factibilidad y/o diseño

- Considerar localización y diseño con acceso universal.
- Considerar múltiples griferías y alturas: para mascotas, para llenado de botellas, para aplicar a manos y cara y para personas en situación de discapacidad.
- Considerar materiales durables para la estructura (p. ej: hierro) e higiénicos para las griferías y tazas (aluminio).
- Considerar una instalación que permita un acceso fácil para mantenciones.
- Considerar un drenaje que infiltre las aguas o las dirija hacia áreas verdes.
- Considerar un diseño que permita una vida útil mínima de 15 años.
- Localización cerca de accesos a parques, lugares de alta afluencia de público o zonas de juegos o equipamiento deportivo.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Manejo del riesgo frente al calor urbano.	• Reducen el impacto a la salud de las personas producto de las altas temperaturas. • Proveen alivio frente al calor. • Previenen episodios de deshidratación e insolación. • Mejoran la calidad del espacio público.	• Cantidad o porcentaje de población comunal a 300 metros de un punto de hidratación.

Reducción del uso del automóvil particular

18

Amenazas		**Evaluación**
Tipo	PR	
Ámbito espacial	TU	

Descripción

Programa o campaña para desincentivar el uso del automóvil particular. Un estudio para la ciudad de Phoenix, EEUU, indica que los automóviles contribuyen un 3,9% del calor urbano comparado con 67% y 29% para calles y estacionamientos, respectivamente. Así, esta medida es complementaria al manejo de las superficies urbanas mediante el uso de pavimentos fríos y/o sombra. El objetivo es reducir fuentes de calor adicional en el entorno urbano, particularmente en zonas céntricas o concurridas.

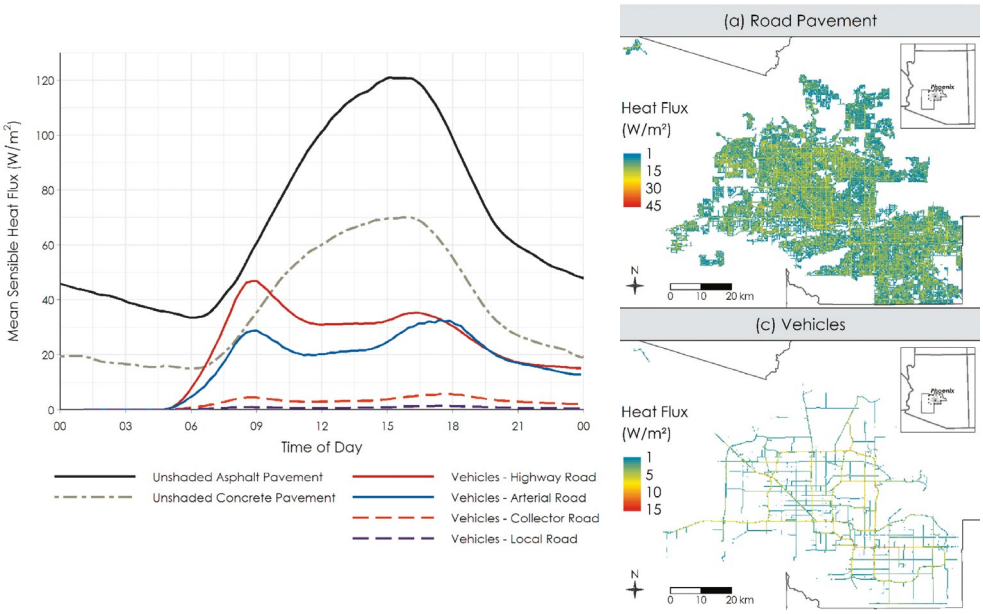


Figura 138. Flujo de calor diurno (Watts/m2) desde pavimentos y vehículos. Se observa que los vehículos en autopistas contribuyen al mayor flujo, comparativamente con vehículos en otras tipologías de calles. Estos resultados son para la ciudad de Phoenix, por lo que los resultados están asociados a la morfología urbana y patrones de movilidad de dicha ciudad. Fuente: Hoehne et al. (2020)

Criterios de factibilidad y/o diseño

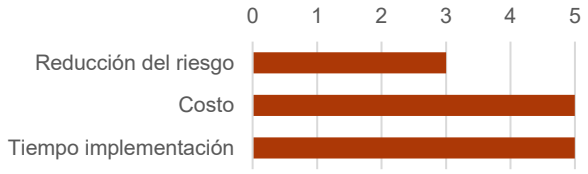
- Considerar complementariedad de la medida con otras medidas de reducción de calor a nivel urbano, tales como pavimentos fríos.
- Generar incentivos para su implementación.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación del calor urbano.	• Reduce temperaturas y efecto isla de calor. • Mejora la calidad del espacio público.	• Reducción del uso del automóvil en X%. • Cantidad de autos en horas de mayor temperatura.

Acuerdos voluntarios para modificar horario laboral

19

Amenazas		**Evaluación**
Tipo	PR	
Ámbito espacial	TU	



Descripción

Medida que busca que la fuerza de trabajo evite las horas de mayor calor en la medida que la naturaleza de la ocupación permita dichas modificaciones de horario. El calor tiene un impacto considerable en el bienestar de las personas durante sus actividades laborales, lo que también impacta en la productividad. Las proyecciones al 2030 indican que con un aumento de 1,3°C, las pérdidas de horas laborales producto del calor equivaldrán a US$2.400 billones. Integrar con medida: “plan de acción para ocupaciones al aire libre durante olas de calor”.

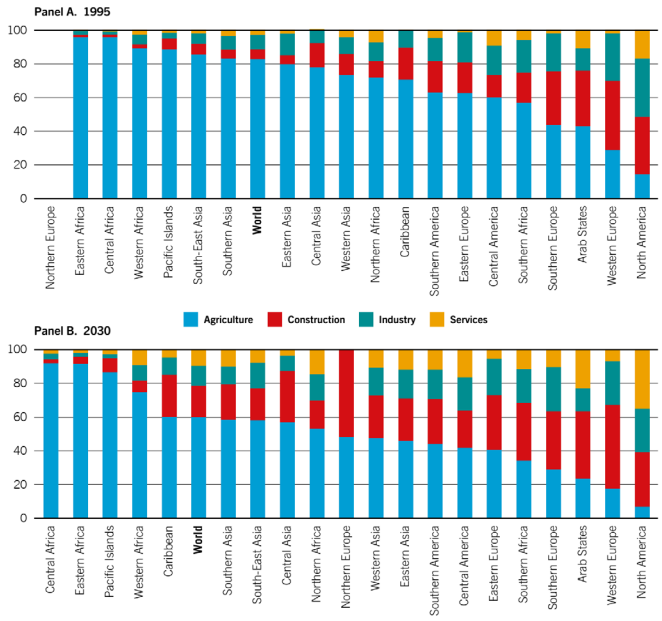


Figura 139. Horas de trabajo perdidas por estrés relacionado al calor por sector económico para 1995 y 2030 (proyección). Fuente: International labor Organization.

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Priorizar ocupaciones que se realizan al aire libre y bajo el sol.
- Considerar ingresos laborales más tempranos y hacer coincidir horas de mayor calor con horas de descanso.
- Generar proyectos piloto (en el sector público) para demostrar factibilidad de implementación de los acuerdos.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Manejo del riesgo frente al calor urbano.	• Reduce el impacto a la salud de los trabajadores producto de las altas temperaturas. • Provee alivio frente al calor. • Previene episodios de deshidratación e insolación. • Mejora la experiencia en el lugar de trabajo.	• Cantidad de acuerdos logrados.

Plan de acción para ocupaciones al aire libre durante olas de calor

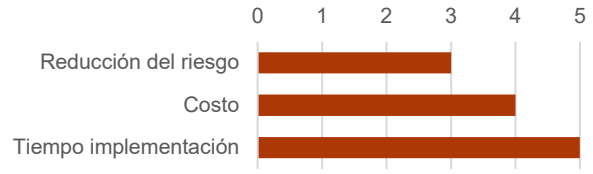
20

Amenazas

Tipo PR

Ámbito espacial TU

Evaluación



Descripción

Establecimiento de directrices y mejores prácticas para enfrentar el calor en aquellas ocupaciones que se ejercen al aire libre expuestas al sol y en donde existe poca posibilidad de flexibilidad horaria. El plan debe elaborarse en conjunto con actores relevantes y debe considerarse como un mecanismo de emergencia de reducción del riesgo que se activa durante eventos extremos. Se deben incorporar temas como: flexibilidad en horas de trabajo, períodos de descanso en lugares apropiados, sombra, hidratación, primeros auxilios y conocimiento en torno a síntomas de enfermedades relacionadas con el calor, entre otros.

PREPARACIÓN	DURANTE EVENTO DE ALTAS T°
1. Coordinar servicios de emergencia	1. Activar una línea telefónica de emergencia
2. Preparar refugios climáticos	2. Apertura de los refugios climáticos
3. Capacitar a funcionarios de la salud	3. Relocalizar a personas que no se puedan mover.
4. Identificar personas vulnerables	4. Aplicar horarios extendidos para servicios y equipamiento
5. Identificar viviendas vulnerables	5. Mantener contacto con personas vulnerables identificadas
6. Identificar centros de adulto mayor	6. Coordinar con servicios básicos apara evitar cortes de energía y agua
7. Diseminar información acerca del plan	7. Entregar apoyo a personas vulnerables
8. Diseminar información en los medios	8. Diseminar información para el autocuidado
	9. Incrementar el número de personal de salud
	10. Reagendar eventos públicos al aire libre

Figura 140. Actividades de planificación para eventos de altas T°. Fuente: Heatwave Planning Guide. Victoria Department of Human Services.

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Establecer umbrales máximos de T° para la realización de trabajos al aire libre y para la activación del plan de acción.
- Desarrollar un sistema de comunicación para indicar cada vez que se debe activar el plan de acción.
- Comenzar con pilotos en el sector público municipal para demostrar factibilidad.
- Socializar el plan con gremios clave de la comuna.
- Integrar el plan con áreas de salud y riesgo de la municipalidad.
- Considerar expandir el plan para población vulnerable que no necesariamente trabaja al aire libre.

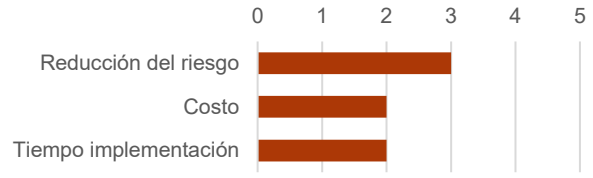
Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Manejo del riesgo frente al calor urbano.	• Reduce el impacto a la salud de los trabajadores producto de las altas temperaturas. • Provee alivio frente al calor. • Previene episodios de deshidratación e insolación. • Mejora la experiencia en el lugar de trabajo.	• Plan de acción desarrollado. • Plan de acción implementado. • Encuesta de percepción.

Ordenanza de temperatura máxima al interior de viviendas

21

Amenazas	
Tipo	E/N
Ámbito espacial	ED

Evaluación



Descripción

Normativa u ordenanza que limita la temperatura máxima que puede alcanzar el interior de la vivienda considerando el diseño de la vivienda y los sistemas de enfriamiento pasivo y activo que se hayan incorporado. La verificación puede realizarse mediante los resultados de modelaciones energéticas. Alternativamente, esta medida puede incorporar la obligatoriedad de incorporar sistemas de aire acondicionado.

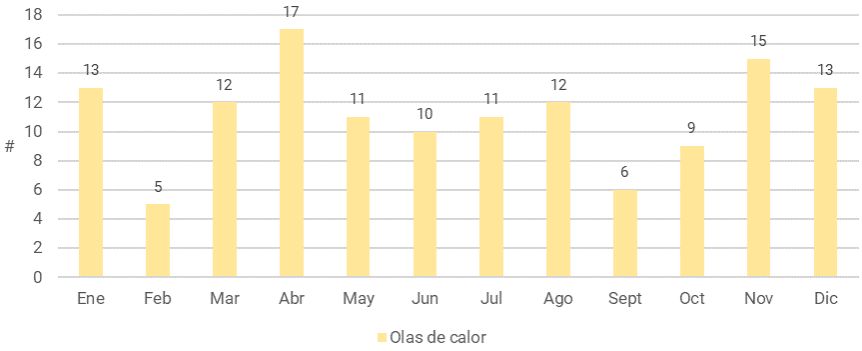


Figura 141. Ocurrencia de olas de calor por mes entre 2001-2002. Fuente: elaboración propia en base a datos de la DMC.

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Considerar máximos de temperatura según hora, mes y de acuerdo a ola de calor de diseño.
- En el caso de obligatoriedad de aire acondicionado, establecer un rango de fechas mínimo en el que estos sistemas deben operar (p. ej: noviembre a abril)

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación del calor.	• Mejora el confort térmico al interior de edificaciones. • Provee alivio frente al calor.	• Ordenanza implementada. • Número de viviendas que cumplen con la ordenanza.

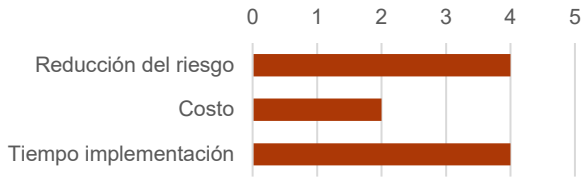
Refugios climáticos (Climate Shelters, Cooling Centers) 22

Amenazas

Tipo IF

Ámbito espacial TU

Evaluación



Descripción

Equipamiento público formal con buenas condiciones de confort térmico dada por sistemas de aire acondicionado, ventilación y/o sombras. Se deben priorizar aquellos equipamientos existentes y utilizados por población vulnerable a olas de calor como niños y adultos mayores. Los refugios climáticos pueden conformar un nuevo servicio público local debidamente señalado para tal efecto y asociado a programas diversos como espacios de trabajo (CoWork) y esparcimiento. La construcción de equipamiento nuevo debe considerar criterios de confort térmico para funcionar como refugios climáticos.

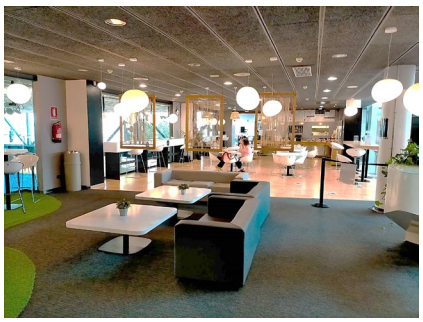


Figura 142. (izq) Cooling Center, Boston. Fuente: Heat resilience solutions for Boston.
Figura 143. (der) Refugio climático de uso múltiple en Barcelona. Fuente: Barcelona.cat

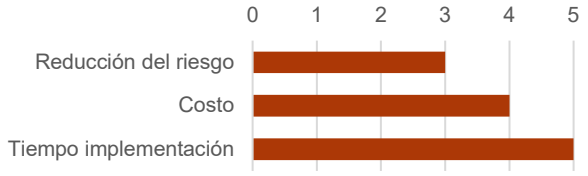
Criterios de factibilidad y/o diseño

- Preferencia de espacios interiores con climatización.
- Espacios exteriores deben tener un carácter complementario y deben estar protegidos y sombreados.
- La función debe ser mixta: confort térmico y usos ligados a equipamientos comunales.
- Integrar con ordenanza de T° máxima interior permitida.
- Considerar criterios de accesibilidad universal.
- Consideraciones de diseño especiales para población vulnerable, tales como niños y adultos mayores.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Manejo del riesgo frente al calor urbano.	• Reducen el impacto a la salud de las personas producto de las altas temperaturas. • Proveen alivio frente al calor. • Previenen episodios de deshidratación e insolación. • Mejoran la experiencia en el espacio público. • Mejoran la calidad del espacio público.	• Número de refugios climáticos. • Cantidad o porcentaje de población comunal a 500 metros o 15 minutos de un refugio climático.

Refugios climáticos temporales (Pop-up Heat Relief) 23

Amenazas		**Evaluación**
Tipo	IF	
Ámbito espacial	TU	



Descripción

Red de refugios climáticos temporales desplegados en espacios públicos durante la época estival. El objetivo es brindar un alivio frente a las altas temperaturas, dando la posibilidad a los ciudadanos de refrescarse y tomar una pausa. Como mínimo deben tener sombra, hidratación y mobiliario para el descanso.

Figura 144. (izq) Cooling Spots, Boston. Fuente: Heat resilience solutions for Boston.

Criterios de factibilidad y/o diseño

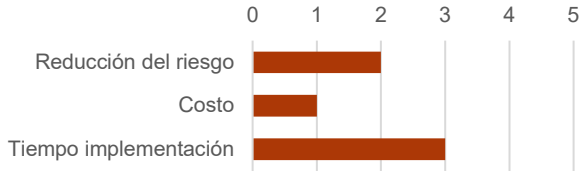
- Considerar criterios de accesibilidad universal.
- Incorporar dispensadores de agua y ventiladores con nebulizador (agua atomizada).
- Integrar amenidades como WiFi y mobiliario urbano.
- Consideraciones de diseño especiales para población vulnerable, tales como niños y adultos mayores.
- Priorizar zonas con baja cobertura arbórea, altas T° superficiales, presencia de grupos de riesgo (niños, adultos mayores) y personas con riesgo fisiológico.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Manejo del riesgo frente al calor urbano.	• Reducen el impacto a la salud de las personas producto de las altas temperaturas. • Proveen alivio frente al calor. • Previenen episodios de deshidratación e insolación. • Mejoran la experiencia en el espacio público. • Mejoran la calidad del espacio público.	• Número de refugios climáticos temporales. • Cantidad o porcentaje de población comunal a 300 metros o 10 minutos de un refugio climático.

Sistema de alerta temprana para temperaturas extremas y olas de calor

24

Amenazas		**Evaluación**
Tipo	TE	
Ámbito espacial	TU	



Descripción

Red de sensores de monitoreo y sistema de pronóstico de temperaturas en tiempo real y a escala local para informar a los habitantes sobre precauciones y acciones a tomar durante olas de calor. Esto generalmente se acompaña con la medida de plan de acción para días con olas de calor, que se enfoca en acciones extraordinarias que deben ejecutar los entes públicos y privados durante días con temperaturas extremas con el objetivo de reducir el riesgo a la salud pública de personas vulnerables.

Figura 145. (izq) Estación meteoróligca personal. Fuente: AcuRite.
Figura 146. (der) Sensores móviles de temperatura, Boston. Fuente: Heat resilience solutions for Boston.

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Considerar una red sensores densa que permita caracterizar los distintos barrios o unidades vecinales de la comuna.
- Considerar el envío de información en tiempo real mediante aplicaciones o servicio de mensajería móvil.
- Considerar la instalación de “tótems” digitales con pronóstico de temperaturas, radiación UV y recomendaciones para prevenir impactos a la salud.

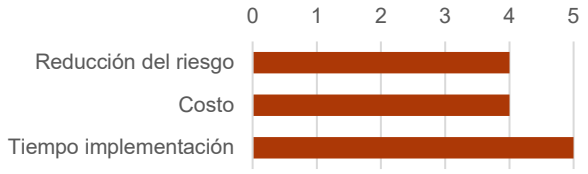
Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Manejo del riesgo frente al calor urbano.	• Previenen el impacto a la salud de las personas producto de las altas temperaturas. • Previenen episodios de deshidratación e insolación.	• Número de sensores. • Número de tótems.

Incentivar la arborización en predios privados

25

Amenazas	
Tipo	PR
Ámbito espacial	TU

Evaluación



Descripción

Incentivar a propietarios privados a participar en campañas de plantación de nuevos árboles en sus antejardines y patios. El objetivo es desarrollar patios y jardines que generen adaptación al cambio climático mediante el incremento de la cobertura arbórea y, con ello, contribuir a reducir las temperaturas localmente. El mejoramiento de los patios privados es una alternativa viable para la generación de una red de infraestructura verde en ciudades densas y consolidadas. El programa debe integrarse con las directrices para el diseño de paisajes adaptados al cambio climático.

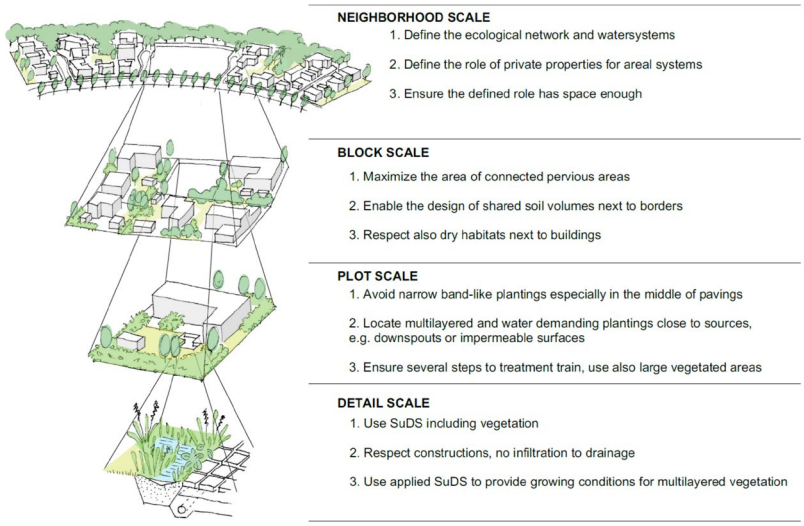


Figura 147. (izq) Estrategias para diversas escalas de infraestructura verde desde barrio hasta predio privado. Fuente: Outi Tahvonen (2018).

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Priorizar zonas con baja cobertura arbórea, altas T° superficiales, presencia de grupos de riesgo (niños, adultos mayores) y personas con riesgo fisiológico.
- Priorizar barrios en donde el tamaño predial y de patios permita la creación de corredores de infraestructura verde.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación del calor urbano. • Promoción de la biodiversidad. • Secuestro y almacenamiento de carbono.	• Reforzar la construcción de capacidad adaptativa frente a olas de calor. • Reducir la necesidad de climatización en edificaciones. • Proveer alivio frente al calor. • Potenciar el desarrollo de corredores biológicos biodiversos en barrios. • Mejorar condiciones de infiltración del suelo.	• Número de patios con árboles maduros. • Número de patios con nuevos árboles plantados. • Número de barrios con red de infraestructura verde consolidada.

Protección de árboles durante faenas de construcción

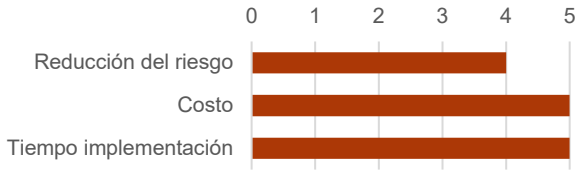
26

Amenazas

Tipo E/N

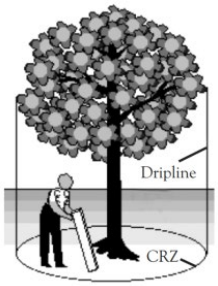
Ámbito espacial TU

Evaluación



Descripción

Ordenanza y/o directrices para la protección de árboles (raíz, tronco y copa) localizados en el espacio público frente a predios durante faenas de construcción de proyectos inmobiliarios. En caso de remoción de árboles por razones inevitables o por daño y/o enfermedad, se pueden establecer criterios para reemplazos equivalentes.



Tree diameter	Critical root zone radius	Total protection zone diameter, including trunk
2 inches	2 feet	4+ feet
6 inches	6 feet	13.5 feet
20 inches	20 feet	42 feet
46 inches	46 feet	96 feet

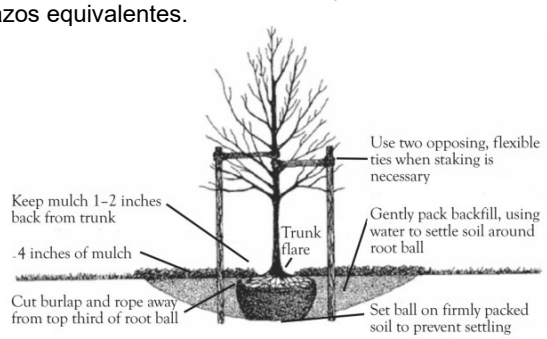


Figura 148. Mejores prácticas para protección de árboles en sitios de construcción. Fuente: Oregon State University.

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Planificar la protección de los árboles al menos una temporada de crecimiento antes del inicio de faenas, priorizando árboles maduros y grupos de árboles.
- Recomendaciones de protección: (1) considerar el área crítica de raíz (Critical Root Zone) para diámetro del cerco de protección y señaléticas, (2) evitar compactar el suelo, (3) no cambiar topografía en torno al árbol, (4) evitar vertido de líquidos y químicos, (5) riego adecuado, (6) fertilizar y aplicar mulch, (7) incorporar un ingeniero forestal o profesión afín.
- Recomendaciones para reemplazo: (1) especies con capacidad de adaptación al cambio climático, (2) estándares mínimos de tamaño de árbol al plantar (Diámetro de Altura al Pecho o DAP), preparación del suelo, ubicación y distancia, tamaño de hoyadura y alcorque, uso de tutores, riego y mantención (poda).

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación del calor urbano. • Regulación de los efectos de la sequía. • Regulación de inundaciones pluviales. • Regulación de la calidad del aire. • Promoción de la biodiversidad. • Secuestro y almacenamiento de carbono.	• Evita la pérdida de capacidad adaptativa frente a olas de calor. • Mantiene la calidad del espacio público para peatones. • Conserva la plusvalía del barrio.	• Número de faenas con implementación de mejores prácticas. • Número de árboles dañados o removidos por negligencias durante faenas de construcción.

Coordinación de medidas de arborización y paisajismo con viveros locales

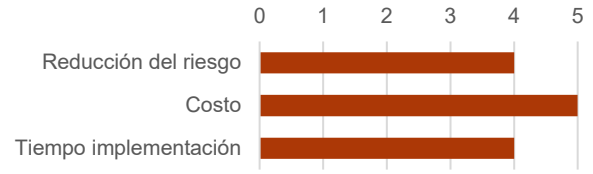
27

Amenazas

Tipo PR

Ámbito espacial TU AV/EP

Evaluación



Descripción

Establecer estrategias de coordinación e incentivos con los viveros locales y/o regionales para que puedan proveer un stock adecuado de especies de acuerdo a la demanda de los diferentes programas y medidas de arborización y/o paisajismo.

Figura 149. Estándar de tamaño y trasplante según la normativa de la ciudad de Montreal. Fuente: Strathmore Landscape Management (Aliza Sovani), Desde el sur: Perspectivas globales sobre el paisaje y territorio (2019).

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Utilizar como referencia de especies la Guía para el diseño y manejo de proyectos de paisajismo.
- Establecer estándares mínimos de tamaño para árboles nuevos (Diámetro de Altura al Pecho o DAP), para asegurar una tasa de prendimiento (sobrevivencia) alta.
- Socializar los proyectos y programas recurrentes de paisajismo público –y aquellos orientados a privados– para que los viveros puedan planificar su stock en cuanto a cantidad y DAP requerido al plantar (es decir, la demanda).
- Transparentar las condiciones de suelo de la comuna para que los viveros puedan cultivar árboles en sustratos similares y así propiciar trasplantes más exitosos.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación del calor urbano. • Regulación de los efectos de la sequía. • Regulación de inundaciones fluviales. • Regulación de la calidad del aire. • Promoción de la biodiversidad. • Secuestro y almacenamiento de carbono.	• Permite construir de forma estable la capacidad adaptativa de la comuna frente a olas de calor. • Otorga certeza y genera garantías de éxito a los planes y proyectos de arborización y paisajismo. • Permite mantener estándares de calidad del material vegetal.	• Número de actores (viveros) alcanzados. • Número de reuniones de coordinación con viveros. • Cantidad de árboles plantados que cumplen con estándar DAP.

Reacondicionamiento de edificios para el confort térmico

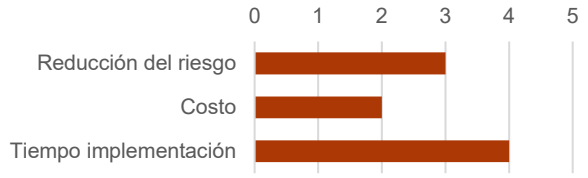
28

Amenazas

Tipo PR

Ámbito espacial ED

Evaluación



Descripción

Programa de reacondicionamiento de unidades de vivienda con bajo confort térmico mediante paquetes de aislación térmica para techos, pisos, muros y ventanas. Adicionalmente se pueden incluir sistemas de enfriamiento como ventiladores y unidades de aire acondicionado y/o soluciones complementarias como persianas y toldos. Enfocado en viviendas existentes.

Pasos	Mejora	Costo Unitario Estimado con Instalación ($/m2)	Costo Total Mejora	Ahorro de Energía Estimado (%)	Indicador Costo Efectividad ($/kWh Ahorrado)
Caso Base	Sin Mejoras	0	0	-	-
1	Aislación de Techumbre 100mm	$5.000	$125.000	23%	$35
	Nota: Considerar barrera de vapor (polietileno) entre la terminación interior y la aislación				
2	Aislación de Piso Poliestireno Expandido Alta Densidad 30mm	$1.500	$37.500	1,5%	$155
	Nota: De poder intervenir el piso, considerar barrera impermeable (polietileno)				
3 Alternativa 1	Aislación Interior Muros Listoneado pino 2"x2" + Poliestireno Expandido 40mm + Barrera Hidrófuga + Placa Yeso Cartón 10mm	$10.000	$800.000	19%	$350
	Nota: Solución económica, sin embargo, no recomendable para construcción de albañilería u hormigón por riesgo de condensación intersticial y reducir masa térmica expuesta interior (ver inercia térmica).				

Pasos	Mejora	Costo Unitario Estimado con Instalación ($/m2)	Costo Total Mejora	Ahorro de Energía Estimado (%)	Indicador Costo Efectividad ($/kWh Ahorrado)
3 Alternativa 2	Aislación Interior Muros Placa Conjunta Poliestireno Expandido 20mm (Aislapol) + Yeso Cartón 10mm	$13.500	$1.080.000	16%	$450
3 Alternativa 3	Aislación Exterior Muros Poliestireno Expandido Alta Densidad 40mm	$23.500	$1.880.000	21%	$590
	Nota: Solución recomendable ya que reduce puentes térmicos, no reduce superficie útil interior, y en el caso de construcción de albañilería u hormigón , No tapa la masa térmica interior				
4	Ventanas Termopanel	$175.000	$3.150.000	14,90%	$1.400
Caso Combinado	Aislación de Techumbre, Aislación de Piso, Aislación Muro Exterior, Ventanas Termopanel	-	-	Más de 60%	-

Figura 150. Escenarios de costos y ahorros para mejoras en techos, pisos, muros y ventanas. Fuente: Manual de (Re)Acondicionamiento Térmico, CChC.

Criterios de factibilidad y/o diseño

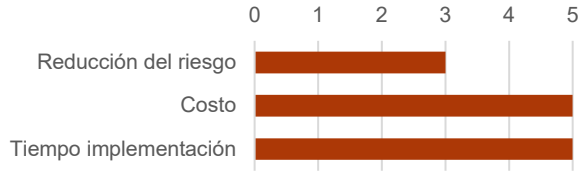
- Priorizar viviendas de menor calidad.
- Priorizar viviendas con presencia de grupos de riesgo (niños, adultos mayores) y personas con riesgo fisiológico.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación del calor.	• Reduce el impacto a la salud de las personas producto de las altas temperaturas. • Provee alivio frente al calor. • Genera ahorros en la demanda energética anual para enfriar. • Mejora el confort térmico al interior de edificaciones.	• Número de viviendas reacondicionadas.

Monitoreo de la percepción del riesgo frente a olas de calor

29

Amenazas		**Evaluación**
Tipo	PR	
Ámbito espacial	n/a	



Descripción

Encuesta ciudadana que permite caracterizar la percepción de riesgo de la población frente a olas de calor y las condiciones de confort térmico al interior de las viviendas. Entender, por ejemplo, cuál es la percepción de calor durante un evento extremo es clave para dirigir acciones y caracterizar de mejor la forma la vulnerabilidad de las personas frente al calor en el territorio comunal.

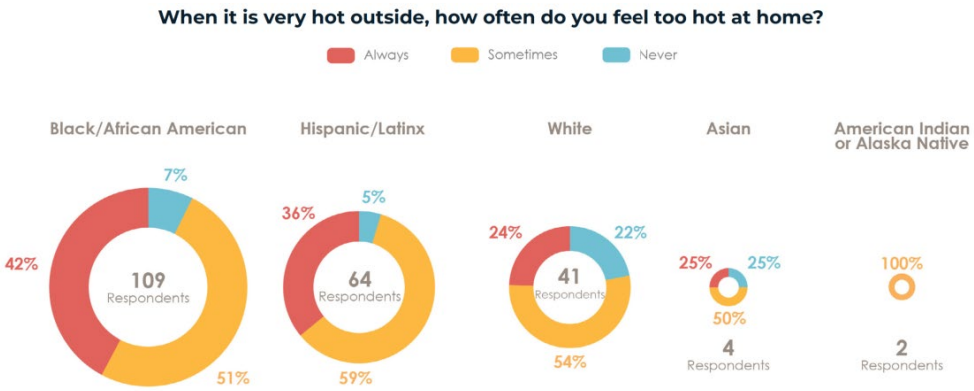


Figura 151. Resultados para una encuesta en torno a la percepción de calor en Boston. Resultados por etnicidad. Fuente: Heat resilience solutions for Boston.

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Considerar un muestreo de los diferentes barrios o unidades vecinales de la comuna.
- Considerar la caracterización etaria y socioeconómica en la encuesta.
- Considerar una encuesta con una recurrencia cada 3 o 5 años como mínimo.

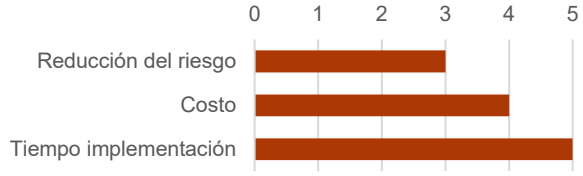
Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Manejo del riesgo frente al calor urbano.	• Caracterizar la vulnerabilidad frente al calor urbano. • Detectar las brechas en base a parámetros sociodemográficos.	• Número de personas alcanzadas. • Número de barrios o unidades vecinales representadas en la encuesta.

Programa de concientización para olas de calor

30

Amenazas	
Tipo	PR
Ámbito espacial	n/a

Evaluación



Descripción

Programa o campaña educativa para socializar los riesgos a la salud de las olas de calor, así como las medidas, acciones y recursos existentes para mitigarlos. Esta medida puede integrarse como parte del plan de acción durante olas de calor. Como mínimo deben abordarse: (1) características, riesgos y ocurrencia de olas de calor, (2) formas de autocuidado y reducción del riesgo, (3) recursos y medidas disponibles para la ciudadanía y (4) sistemas de alerta temprana.

Figura 152. Mesa informativa del plan informativo para olas de calor de Boston. Fuente: Heat resilience solutions for Boston.

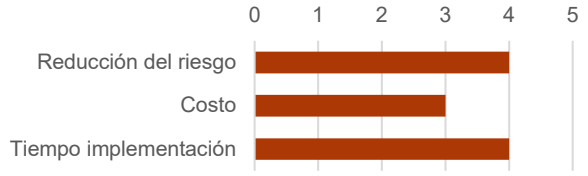
Criterios de factibilidad y/o diseño

- Considerar diversos canales de comunicación, incluidos presenciales en colegios, parques y centros comunitarios.
- Considerar modos de comunicación adecuados para personas en condición de discapacidad.
- Considerar que la población vulnerable, que debe ser el objeto principal del programa, no siempre tiene acceso a medios de comunicación digitales.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Manejo del riesgo frente al calor urbano.	• Preparar a la población para enfrentar de mejor forma un evento de altas temperaturas. • Reducir el impacto a la salud de las personas producto de las altas temperaturas. • Prevenir episodios de deshidratación e insolación. • Permitir detectar las brechas de conocimiento e información.	• Número de personas alcanzadas. • Número de personas vulnerables alcanzadas.

Plazas de bolsillo optimizadas como área verde de alta cobertura arbórea	**31**

Amenazas		**Evaluación**
Tipo	SBN	
Ámbito espacial	TU AV/EP	



Descripción

En ciudades densas y con espacio limitado para nuevas áreas verdes de gran escala, se pueden utilizar aquellos espacios infrautilizados como áreas verdes optimizadas con altos porcentajes de cobertura arbórea para generar sombra y temperaturas menores respecto del entorno. Pueden integrarse con puntos de hidratación y fuentes recreativas, funcionando a la vez como refugios climáticos durante olas de calor. Se deben identificar dichos espacios, considerando la vulnerabilidad de los distintos barrios, para luego optimizarlos mediante una plantación densa de árboles de sombra.

Figura 153. Paley Park, New York. Notar que el espacio está cubierto por la copa de los árboles y posee una cascada de agua que actúa como mecanismo de enfriamiento evaporativo. Fuente: Google.

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Priorizar zonas con baja cobertura arbórea, altas T° superficiales, presencia de grupos de riesgo (niños, adultos mayores), personas con riesgo fisiológico y con carencia de parques y/o plazas.

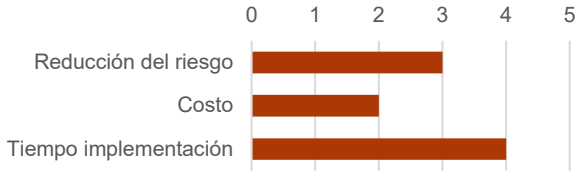
Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación del calor urbano.	• Reducen temperaturas y efecto isla de calor. • Proveen alivio frente al calor. • Previenen episodios de deshidratación e insolación. • Mejoran la experiencia en el espacio público. • Mejoran la calidad del espacio público. • Proveen espacios para la recreación e interacción social.	• Número de plazas de bolsillo optimizadas.

Paraderos optimizados para el calor

32

Amenazas	
Tipo	IF
Ámbito espacial	TU

Evaluación



Descripción

Desarrollar paraderos de buses con elementos de sombra apropiados y ajustados al volumen de personas. Las estrategias pueden incluir sombras estructurales, plantación de árboles en torno a los paraderos y ventiladores con atomización de agua.

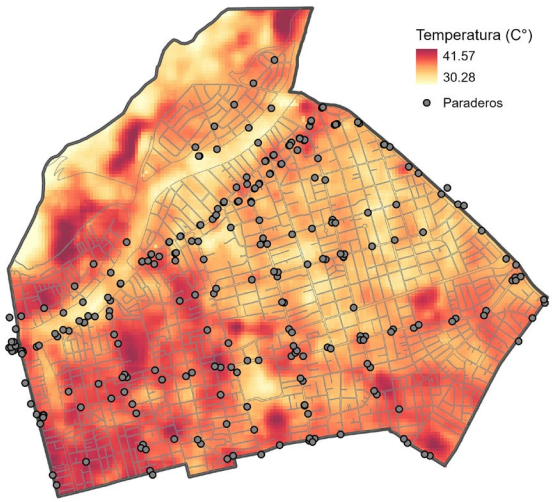


Figura 154. (izq) Paraderos optimizados en Białystok, Poland. Fuente: Lifetreecheck.eu
Figura 155. (der) Temperatura superficial de la ola de calor más intensa registrada (24 de enero de 2019) y localización paraderos. Fuente: elaboración propia.

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Priorizar paraderos con mayor afluencia de público.
- Priorizar zonas con altas T° superficiales.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Manejo del riesgo frente al calor urbano.	• Permiten reducir el impacto a la salud de las personas producto de las altas temperaturas. • Proveen alivio frente al calor. • Previenen episodios de deshidratación e insolación. • Mejoran la experiencia en el espacio público. • Mejoran la calidad del espacio público.	• Número de paraderos optimizados.

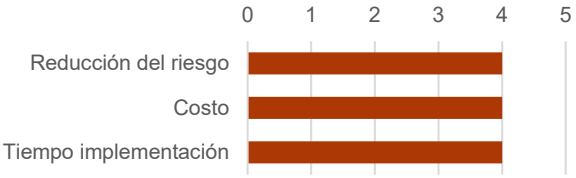
Área mínima de sombra (Shade Factor) 33

Amenazas

Tipo E/N

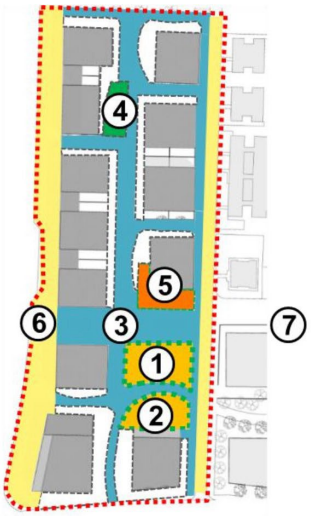
Ámbito espacial TU

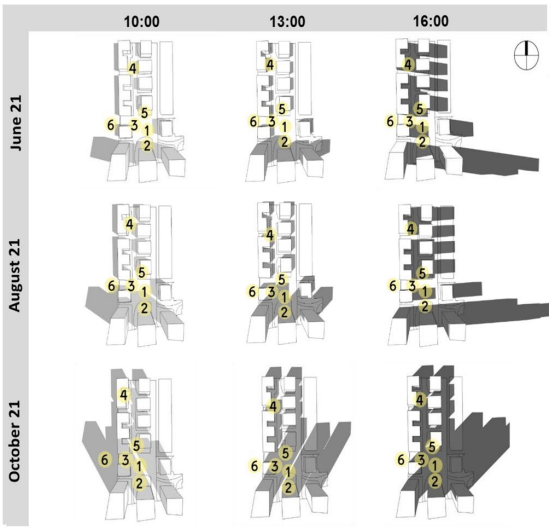
Evaluación



Descripción

Establecimiento de porcentajes mínimos de superficie sombreada según tipologías de espacio público y carga de uso del espacio (pasajes, paraderos, zonas de juego, puntos de interés o reunión, etc.). Dicho mínimo se entiende como un factor, el cual obedece a las condiciones de sombra / exposición a lo largo del día.





Plan division into shaded areas: legend	
Plan boundary	
Points of interest and gathering spaces	80%
Walkway	80%
Landscaped area	20%
Schoolyard	50%
Street	80%

Space type	Required shade cover	Shade quantity from existing and planned buildings (% shade)									Meets the criterion?
		June 21			August 21			October 21			
		10 am	1 pm	4 pm	10 am	1 pm	4 pm	10 am	1 pm	4 pm	
Gathering place	80%	0%	10%	50%	50%	75%	90%	90%	90%	100%	No
Gathering place	80%	100%	80%	100%	100%	100%	100%	90%	90%	100%	Yes
Pathway	80% on one path	0%	5%	5%	15%	10%	5%	90%	80%	90%	No
Landscaped area	20%	100%	100%	100%	80%	80%	80%	60%	60%	50%	Yes

Figura 156. Requerimientos (factor) de sombra por tipología de espacio y análisis de sombra para determinar si cumplen o no con el factor. Fuente: Plan de sombras Tel Aviv.

Criterios de factibilidad y/o diseño

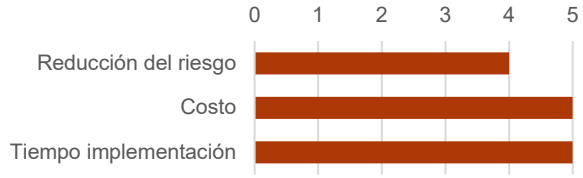
- Factor de sombra se define como: (área sombra / área total del espacio)
- La necesidad de sombra debe decidirse mediante la modelación de sombras en el día según volumetría urbana, verificando si se cumplen los factores definidos.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación del calor urbano.	• Reduce temperaturas y efecto isla de calor. • Mejora la calidad del espacio público. • Reduce el riesgo de enfermedades a la piel.	• Modelación de sombra en puntos de interés realizada. • Definición de factores de sombra. • Aplicación de factor de sombra en proyecto piloto.

Incentivar la conservación de masas boscosas en terrenos privados

34

Amenazas		**Evaluación**
Tipo	PR	
Ámbito espacial	TU	



Descripción

Programa que incentive a propietarios privados a mantener, mediante un acuerdo, la cobertura arbórea existente, particularmente de árboles maduros y de gran superficie de copa. El objetivo es mantener o evitar la pérdida de la capacidad adaptativa que proveen las masas boscosas al interior de predios frente a olas de calor.

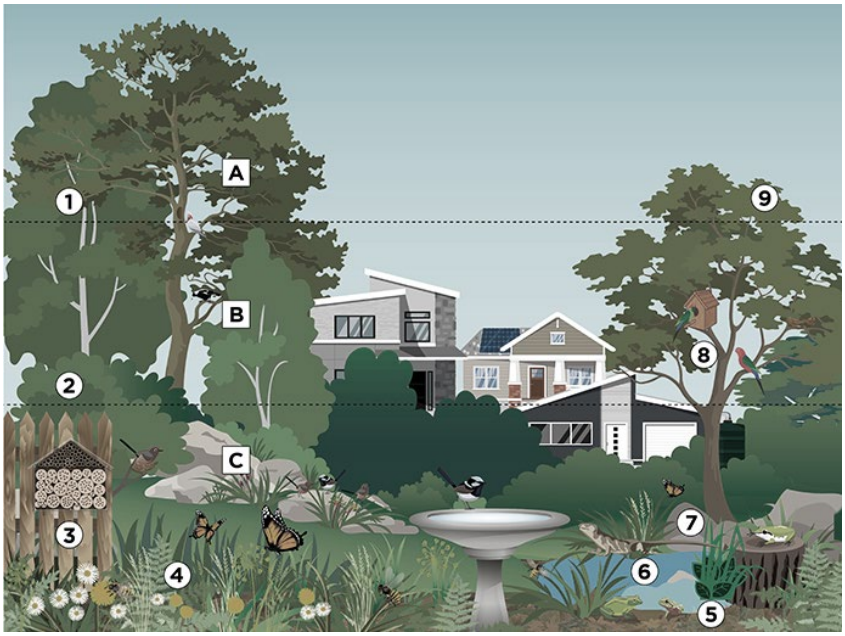


Figura 157. Zonas de bosque de un patio trasero: A = emergente, B = dosel, y C = sotobosque y cubresuelos. 1 = árbol maduro, 2 = arbusto denso, 3 = hotel de insectos, 4 = flores, abejas y mariposas, 5 = acolchado de hojas, 6 = estanque, 7 = rocas y troncos, 8 = caja anidera, 9 = árboles pequeños. Fuente: Environment.nsw.gov.au

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Realizar un catastro de árboles o masas boscosas en predios privados mediante inspección visual, encuestas y/o percepción remota (levantamiento por dron).
- Proveer asesorías e insumos como incentivos para la mantención de árboles y promover un manejo adecuado de la vegetación.

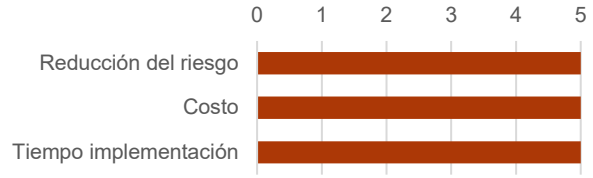
Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación del calor urbano. • Promoción de la biodiversidad. • Secuestro y almacenamiento de carbono.	• Evitar la pérdida de la capacidad adaptativa frente a olas de calor. • Reducir la necesidad de climatización en edificaciones. • Proveer alivio frente al calor. • Potenciar el desarrollo de corredores biológicos biodiversos en barrios.	• Número propietarios con acuerdos favorables. • Número de patios con árboles maduros conservados.

Conservación de corredores fríos y de ventilación

35

Amenazas	
Tipo	SBN
Ámbito espacial	TU

Evaluación



Descripción

Conservación de la cobertura arbórea de corredores verdes establecidos, especialmente aquellos orientados en la dirección de vientos predominantes. Requiere un proceso de priorización y evaluación del estado de salud de los árboles, incorporando estrategias de manejo y reemplazo. Integrar con medidas de arborización, directrices de manejo y protección.

Figura 158. Corredores arbolados (superficie cubierta por copa de árboles) de la comuna de Providencia. Fuente: Elaboración propia.

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Priorizar corredores consolidados con alta cobertura arbórea.
- Establecer una línea base de superficie de copa o cobertura arbórea para monitorear su pérdida en el tiempo y, con ello, la necesidad de conservación y reemplazo.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación del calor urbano. • Regulación de calidad del aire. • Regulación de los vientos a escala local. • Promoción de la biodiversidad. • Secuestro y almacenamiento de carbono.	• Reducen temperaturas y efecto isla de calor. • Reducen la necesidad de climatización en edificaciones. • Generan hábitat para la biodiversidad. • Mejoran las condiciones de infiltración del suelo. • Mejoran la calidad del espacio público para peatones. • Incrementan la plusvalía.	• Corredores priorizados identificados. • Número de corredores prioritarios con línea base. • Número de corredores prioritarios con medidas implementadas.

Reutilización de aguas grises en nuevos desarrollos

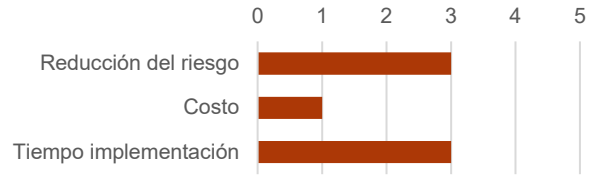
36

Amenazas

Tipo TE

Ámbito espacial ED

Evaluación



Descripción

Sistema de infraestructura sanitaria domiciliaria (individual o colectiva) que permite separar las aguas grises al interior de edificaciones para su posterior reutilización en usos distintos del consumo humano (riego y descarga de aparatos sanitarios). Las aguas grises corresponden a aguas servidas domésticas residuales provenientes de tinas de baño, duchas, lavaderos, lavatorios y otros, excluyendo aguas negras. Se deben incorporar sistemas complementarios de filtrado y depuración de las aguas para alcanzar la calidad indicada por la normativa, la que en Chile corresponde a la Ley 21.075 de 2018 y su Reglamento, el que no ha sido publicado aún.

Tabla Nº 1
Usos urbanos.

Parámetro	Unidad	Límite máximo
DBO_5	mg/l	10
SST	mg/l	10
CF	UFC/100 ml	10
Turbiedad	UNT	5
Cloro libre residual	mg/l	0,5 ≤ X ≤ 2

- **DBO_5**: Demanda Bioquímica de Oxígeno.
- **SST**: Sólidos suspendidos totales.
- **CF**: Coliformes fecales
- **mg/l**: milígramos por litro.
- **UFC/100ml**: Unidades formadoras de colonia
- por cien milímetros.
- **UNT**: Unidades nefelométricas de turbidez.

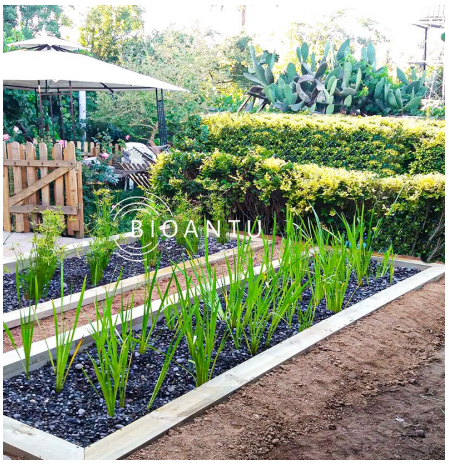


Figura 159. (izq) Calidad de aguas grises para usos urbanos según el Reglamento Ley 21.07: Fuente: Ministerio de Salud.
Figura 160. (der) Humedal depurador de aguas grises. Fuente: Bioantu.

Criterios de factibilidad y/o diseño

- La Ley 21.075 y su Reglamento establece los requerimientos de diseño, operación, calidad de las aguas grises tratadas y monitoreo y control.
- A nivel urbano, la reutilización de aguas grises ser destinada sólo a riego de jardines o descarga de aparatos sanitarios (Ley 21.075).
- Incentivar la utilización de sistemas de tratamiento natural como humedales depuradores.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación de los efectos de la sequía.	• Reducen el consumo de agua a nivel domiciliario. • Generan ahorros en las cuentas de agua. • Reducen el consumo de agua domiciliario a escala comunal. • Generan amenidades paisajísticas en caso de utilizar tratamiento natural.	• Número de desarrollos nuevos con sistemas de reutilización de aguas grises.

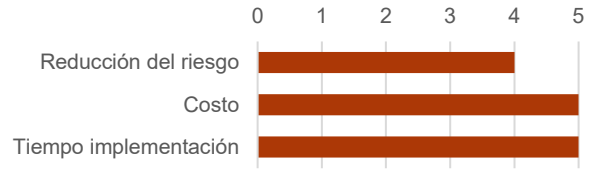
Directrices para el diseño de proyectos de paisajismo adaptados al cambio climático (Climate-Proof Garden) 37

Amenazas

Tipo E/N

Ámbito espacial TU AV/EP

Evaluación



Descripción

Guía para la diseño y manejo de proyectos de paisajismo privados y públicos que consideren el contexto climático local a través de directrices para: (1) selección de especies resistentes a la sequía, plagas y enfermedades y (2) conformación de comunidades de especies con diversidad estructural para diversas funciones como generación de hábitat, infiltración y filtración de agua, mejoramiento del suelo, entre otras. Además, deben incorporarse métodos de manejo del suelo, manejo natural de plagas y enfermedades y riego eficiente. Adicionalmente, la guía puede generar diseños de referencia según la tipología de paisaje, tales como hileras de árboles en veredas, antejardines, jardines interiores, bandejones, plazas y parques.

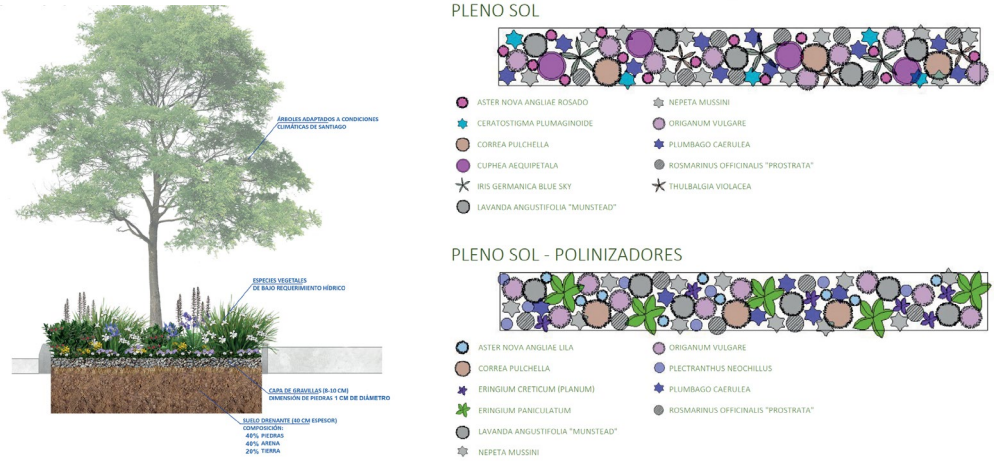


Figura 161. Guía de jardines sustentables. Fuente: Municipalidad de Providencia.

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Generar incentivos para su aplicación en patios y antejardines privados.
- Implementar una certificación para incentivar la aplicación práctica de la guía en predios privados.
- Proveer asesorías para un diseño asistido.
- Generar convenios con viveros locales para la compra preferencial de especies y comunidades recomendadas en la guía.
- Incorporar esta medida a la guía de diseño existente.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación de los efectos de la sequía. • Regulación del calor urbano. • Regulación de inundaciones pluviales. • Regulación de contaminantes en el suelo. • Promoción de la biodiversidad. • Secuestro y almacenamiento de carbono.	• Reducir la demanda de riego en áreas verdes públicas. • Reforzar la construcción de capacidad adaptativa frente a olas de calor. • Potenciar la calidad paisajística del espacio público. • Mejorar la plusvalía de barrios. • Mejorar condiciones de infiltración del suelo.	• Número de personas que descargan la guía. • Número de viviendas con “Climate-Proof Gardens”. • Número (o porcentaje del total de superficie) de áreas verdes con principios de diseño para “Climate-Proof Gardens”.

Recolección de aguas lluvias

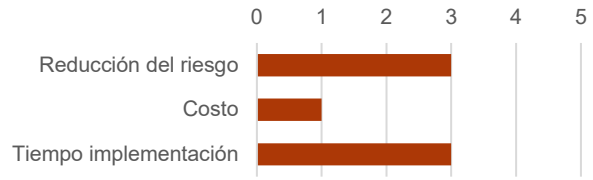
38

Amenazas

Tipo IF

Ámbito espacial ED

Evaluación



Descripción

Sistema de recolección y almacenamiento de aguas lluvias desde escorrentía superficial y techos para uso posterior. Aplicable a edificaciones nuevas o existentes. La captación se realiza generalmente a nivel de techo, pero también puede ser a nivel de suelo, aprovechando infraestructura de drenaje. El agua recolectada puede ser almacenada en estanques cisternas superficiales o subterráneos, dependiendo de la captación. La recolección de aguas lluvias debe acompañarse con medidas como jardines de lluvia, jardineras de aguas lluvias, techos verdes y pavimentos permeables.

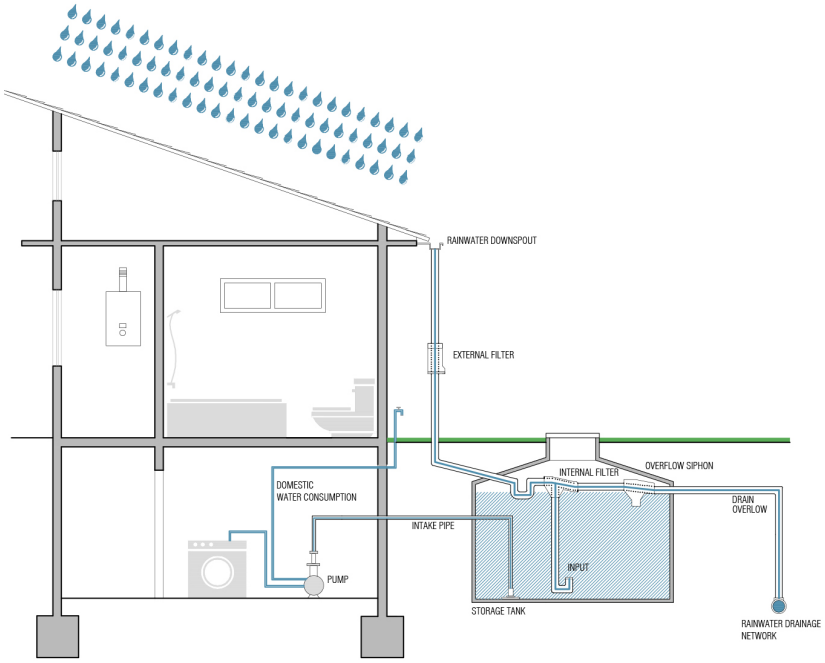


Figura 162. (der) Sistema de recolección con estanque subterráneo Fuente: Flavio Sciaraffia (Deserta).

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Aplicable a múltiples usos: edificios residenciales, comerciales, industriales y equipamiento público.
- Los sistemas de captación y almacenamiento pueden ser diseñados como parte de la arquitectura y sistemas sanitarios de la edificación.
- Procurar un sistema de rebalse hacia un sistema de bioretención e infiltración natural.

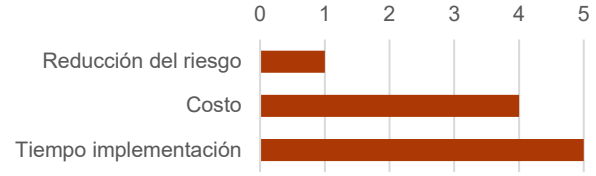
Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación de los efectos de la sequía. • Regulación de inundaciones pluviales.	• Reducen la demanda de agua para usos como riego. • Generan ahorros en las cuentas de agua. • Reducen el volumen de escorrentía urbana.	• Número de proyectos nuevos con sistema de recolección de aguas lluvias. • Número de edificaciones existentes con sistema de recolección de aguas lluvias.

Programas de concientización para la gestión hídrica domiciliaria

39

Amenazas	
Tipo	PR
Ámbito espacial	n/a

Evaluación



Descripción

Programa educativo enfocado en la reducción del consumo de agua por parte de las personas en sus domicilios. Se enfoca en propiciar cambios en hábitos y comportamientos que permitan disminuir la demanda residencial. Esto cobra relevancia, puesto que el consumo "residencial" corresponde al 59% del total comunal (2017-18), siendo el más alto comparativamente con el uso "comercial" (40%) e "industrial" (1%).

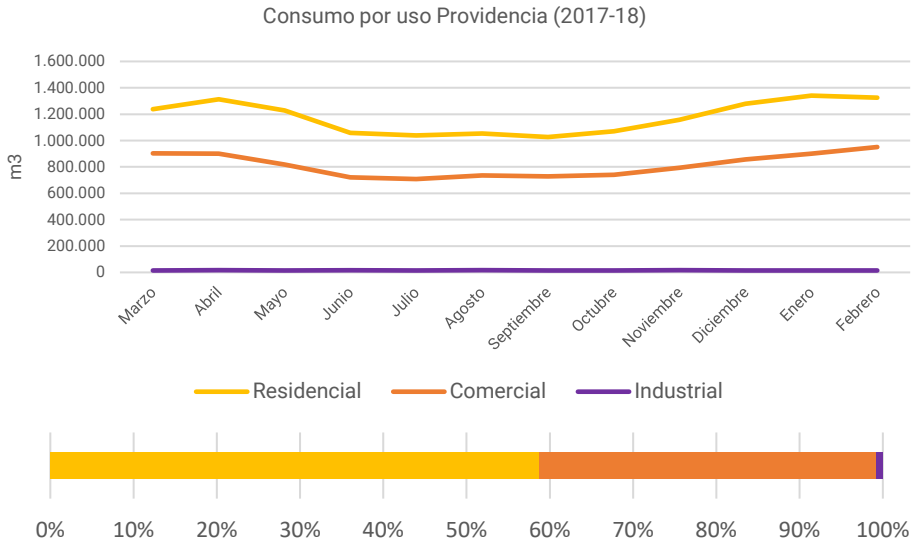


Figura 163. (sup) Consumo de agua por uso o sector desde marzo 2017 a febrero de 2018. Fuente elaboración propia en base a Estrategia Hídrica Local, Municipalidad de Providencia.
Figura 164. (inf) Consumo por uso o sector 2017-18, Providencia. Fuente elaboración propia en base a Estrategia Hídrica Local, Municipalidad de Providencia.

Criterios de factibilidad y/o diseño

Se recomienda integrar las siguientes medidas y consideraciones a la Estrategia Hídrica local:

- Desarrollar manuales con estrategias de ahorro para administraciones de edificios.
- Generar acuerdos o compromisos voluntarios con residentes (contra incentivos) como forma de asegurar la ejecución de medidas de eficiencia hídrica.
- Monitorear y hacer seguimiento a residentes o administraciones de copropiedades para evaluar la efectividad de las medidas implementadas.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación de los efectos de la sequía.	• Reducir la demanda de agua para usos como riego. • Generar ahorros en las cuentas de agua. • Reducir el volumen de escorrentía urbana. • Generar conciencia respecto de la huella hídrica en el sector privado.	• Número de acuerdos voluntarios alcanzados. • Porcentaje de reducción de consumo residencial anual respecto de año de referencia.

Manejo optimizado del riego de áreas verdes por parte de vecinos

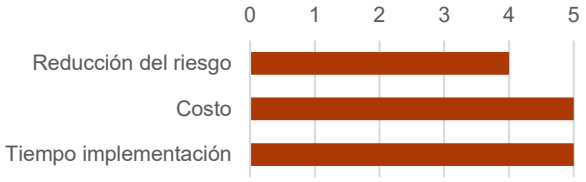
40

Amenazas

Tipo E/N

Ámbito espacial AV/EP

Evaluación



Descripción

El objetivo es hacer más eficiente el riego de las áreas verdes frente a propiedades por parte de los vecinos, considerando las obligaciones dispuestas en la Ordenanza de Ornato. Hay que recordar que el objetivo del riego es reponer el agua transpirada por las plantas y el agua evaporada desde el suelo, de manera que las plantas puedan realizar fotosíntesis. Una forma de lograrlo es definir una demanda de riego (volumen) dada por parámetros como la evapotranspiración (mm/día), el área a regar (m2) y la profundidad a alcanzar con el riego. Así, las características del sistema de riego pueden diseñarse para cumplir con dicho estándar. Las características incluyen el tipo de riego (aspersores, microjet, goteo, etc), caudal, número de bocas, tiempo de riego, etc.

Tabla 1. Información de sectores.

Número de sectores	10
Ancho de sectores	13m
Largo de sectores	15m

Tabla 3. Ejemplo de cálculo de riego y aprovisionamiento.

Mes de mayor demanda de agua	Enero	
Evapotranspiración en enero (1. CLIMA)	6,4	mm/día
Profundidad a alcanzar con el riego	0,3	m
Número de aspersores por línea	4	
Precipitación del sistema por riego aspersión (caudal de 4 aspersores/área mojamiento)	9,3	mm/h
Lámina de agua en cada riego con aspersor	9,3	mm
Tiempo de riego con línea de aspersor	1	h
Volumen de agua necesario para regar todo el huerto en un día (2 líneas cada sector)	99	m3
Período de seguridad con agua almacenada en pleno verano (1. CLIMA máximo días sin pp)	50	días
Volumen de agua en laguna (99m3x50días)	4941	m3
Tiempo de llenado según caudal de pozo	14	días

Figura 165. Ejemplo de cálculo de demanda de riego utilizando parámetros de evapotranspiración diaria. Fuente: Huerto Orgánico Regenerativo Biointensivo, Huerto Cuatro Estaciones.

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Considerar proveer asesoría para los cálculos del sistema de riego.
- Establecer estándares mensuales en base a la evapotranspiración diaria (mm/día) y tipos de paisajes a regar.
- Integrar con medida 42: Monitoreo del nivel freático y evapotranspiración.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación de los efectos de la sequía. • Regulación del calor urbano.	• Hacer más eficiente y efectivo el riego de las áreas verdes frente a propiedades, particularmente los árboles. • Reducir la demanda de agua para riego. • Generar ahorros en las cuentas de agua. • Mantener la capacidad adaptativa provista por el arbolado urbano frente a olas de calor.	• Se establecen las demandas de riego en la ordenanza. • Número de propietarios o copropiedades con sistema de riego optimizado.

Monitoreo y detección de fugas en la red de agua potable

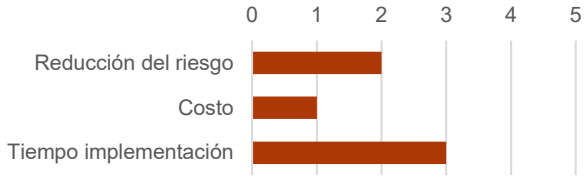
41

Amenazas

Tipo TE

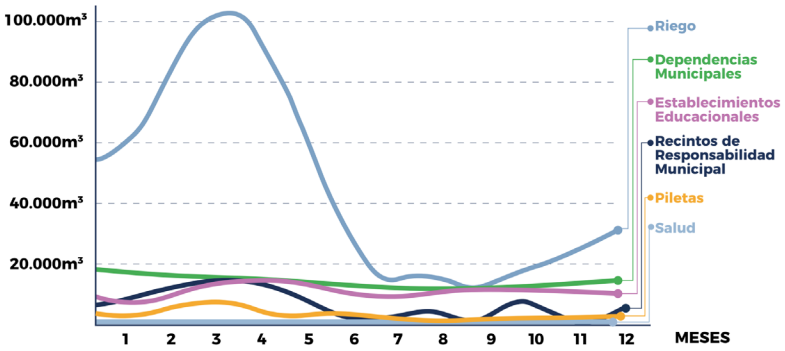
Ámbito espacial TU

Evaluación



Descripción

Implementación de acciones para la detección de fugas, principalmente en el suministro de edificios municipales y redes de irrigación de parques y plazas. La pérdida de agua de la red de distribución se contabiliza como “agua no facturada”, la que se atribuye generalmente a problemas en la infraestructura hídrica. La empresa sanitaria que abastece Providencia reporta un 32,5% de agua no facturada al 2021 (promedio Chile: 33,2%, 2021) El objetivo entonces es reducir el volumen de pérdidas de agua potable en el contexto de sequía.



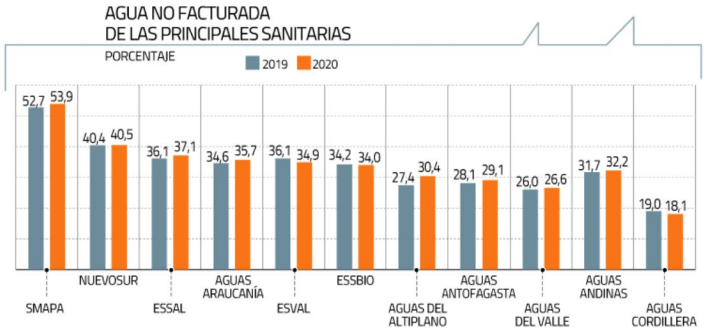


Figura 166. (sup) Consumo municipal anual por sector (2017). Fuente: Estrategia Hídrica Local, Municipalidad de Providencia.
Figura 167. (inf) Agua no facturada principales sanitarias (2019-20) Fuente: Diario Financiero.

Criterios de factibilidad y/o diseño

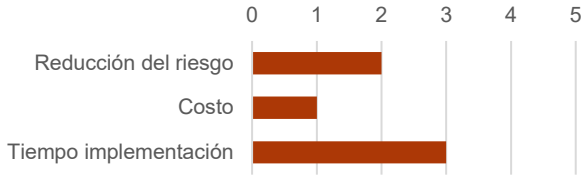
- Priorizar redes ligadas al riego de diversas tipologías de áreas verdes, dependencias municipales y establecimientos educacionales.
- Coordinar y trabajar en conjunto con el proveedor de servicios sanitarios de agua potable.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación de los efectos de la sequía.	• Reducir la demanda de agua para riego. • Reducir la demanda de agua potable municipal. • Generar ahorros en las cuentas de agua públicas.	• Porcentaje de fugas reparadas del total detectadas.

Monitoreo del nivel freático y evapotranspiración

42

Amenazas		**Evaluación**
Tipo	TE	
Ámbito espacial	TU	



Descripción

Sistema de monitoreo del nivel de la napa de agua por zona y la evapotranspiración para determinar de mejor forma la demanda de riego de áreas verdes públicas (ver medida 40). Integrar con la medida de manejo optimizado del riesgo.

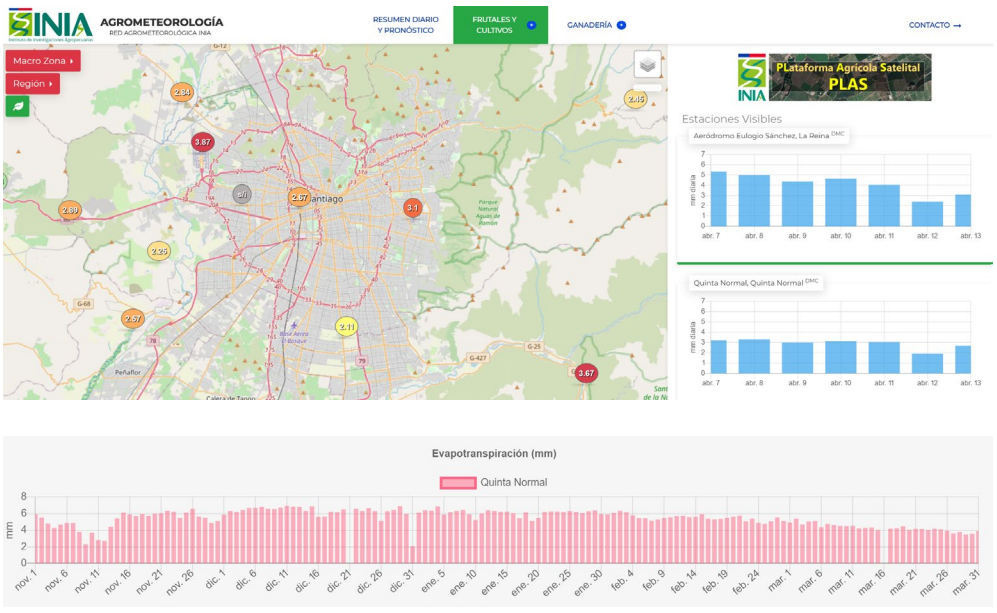


Figura 168. (sup) Evapotranspiración diaria para estaciones en la RM. Fuente: Red Agrometeorológica, INIA.
Figura 169. (inf) Evapotranspiración diaria Estación Quinta Normal entre nov-2022 – mar-2023. Fuente: Red Agrometeorológica, INIA.

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Considerar monitoreo por sector (unidad vecinal u otra).
- Considerar una plataforma de información de acceso público.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación de los efectos de la sequía.	• Calibrar la demanda de riego. • Hacer más eficiente y efectivo el riego de las áreas verdes frente a propiedades y de parques y plazas.	• Sistema de monitoreo en funcionamiento.

Artefactos sanitarios de bajo consumo

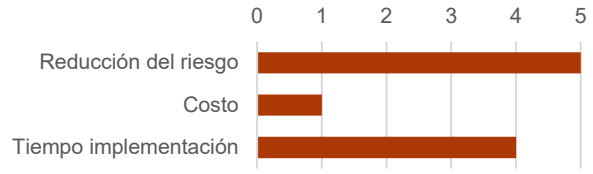
43

Amenazas

Tipo PR

Ámbito espacial TU

Evaluación



Descripción

Incentivar la instalación de artefactos sanitarios de bajo consumo en desarrollos nuevos y generar un programa de recambio en viviendas existentes y dependencias municipales. El objetivo es reducir la demanda de agua potable residencial y la demanda de dependencias municipales como establecimientos educacionales.

Tipo WC	Consumo	N° de usos diarios	Consumo anual
Regular	26,5 LPU	5	48.400
Regular	18,9 LPU	5	34.607
Regular	13,2 LPU	5	25.607
Regular	6,1 LPU	5	11.067
Eficiente	4,8 LPU	5	8.852

LPU: Litros por uso

Figura 170. Comparativo de diversos WC vs uno eficiente. Fuente: Wáter-saver.org

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Establecer un proyecto piloto para demostrar eficiencias.
- Establecer incentivos para desarrollos de edificios de departamentos (vivienda colectiva).

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación de los efectos de la sequía.	• Reducen la demanda de agua potable (hasta 50-60% en viviendas). • Generan ahorros den las cuentas de agua.	• Número de viviendas nuevas con artefactos eficientes. • Número de viviendas con recambio a artefactos eficientes. • Número de dependencias municipales con artefactos eficientes.

Implementar sistemas de telegestión para riego de áreas verdes

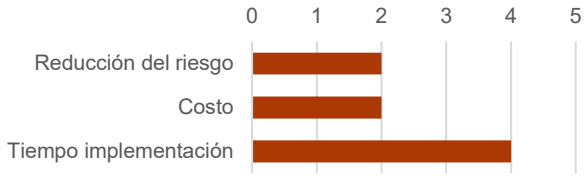
44

Amenazas

Tipo TE

Ámbito espacial AV/EP

Evaluación



Descripción

Automatizar el riego de áreas verdes que aún no tienen sistema de riego gestionado a distancia. El objetivo es mejorar la eficiencia en el riego y calibrar el manejo en función de otros parámetros monitorearles como la evapotranspiración y nivel freático.

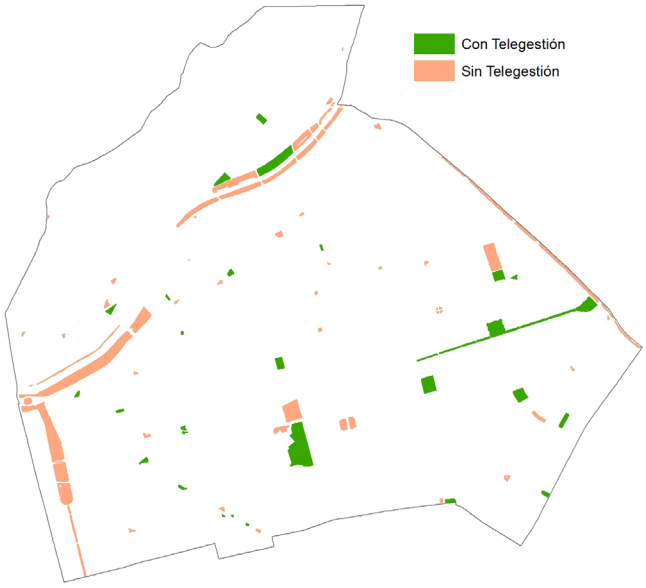


Figura 171. Parques y plazas con sistema de telgestión del riesgo según datos de la Municipalidad. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia.

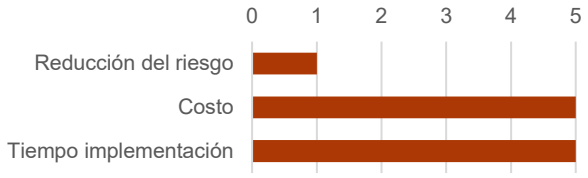
Criterios de factibilidad y/o diseño

- Calcular las demandas de riego en función del sistema de monitoreo del nivel freático y evapotranspiración (ver medida 42).

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación de los efectos de la sequía.	• Reducir la demanda de agua para riego. • Reducir la demanda de agua potable municipal. • Generar ahorros en las cuentas de agua públicas	• Porcentaje del total de áreas verdes con sistema de telegestión.

Incentivar la gestión del recurso hídrico en el sector privado	45

Amenazas		**Evaluación**
Tipo	PR	
Ámbito espacial	n/a	



Descripción

Programa de incentivo para la certificación de sustentabilidad de la huella hídrica en empresas del sector privado. El objetivo es lograr que las empresas adhieran a instrumentos voluntarios para la implementación de acciones orientadas a la gestión hídrica. Se recomienda utilizar instrumentos existentes público-privados como el "Certificado Azul" de la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático, que busa promover el uso eficiente y sostenible del agua en la producción de bienes y servicios.

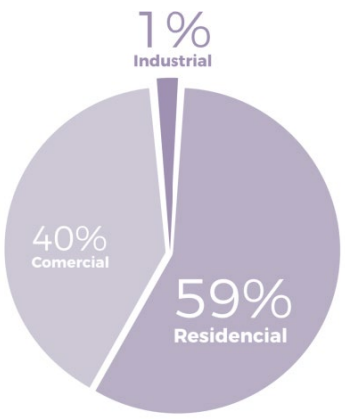


Figura 172. El sector comercial comprende el 40% del consumo de agua Comunal (2017-18) Fuente: Estrategia Hídrica Local Municipalidad de Providencia.

Criterios de factibilidad y/o diseño

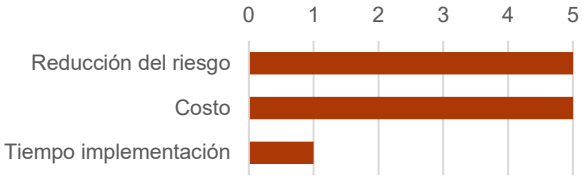
- Considerar la comunicación de los beneficios de las certificaciones de gestión y sostenibilidad en torno al agua: sostenibilidad, fortalecimiento de imagen, reducción de costo, gastos deducibles a la renta, etc.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación de los efectos de la sequía.	• Reducir la demanda de agua a nivel comunal. • Generar conciencia respecto de la huella hídrica en el sector privado.	• Número de empresas alcanzadas.

Propiciar alturas máximas proporcional al ancho de calle

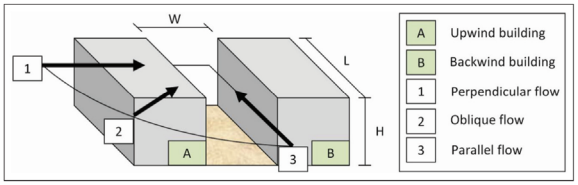
46

Amenazas		**Evaluación**
Tipo	E/N	
Ámbito espacial	TU	



Descripción

Normativa que propicie una relación 1:1 entre altura máxima (H) y el ancho total (W) del espacio comprendido entre edificaciones, incluyendo calle, vereda y el distanciamiento entre línea oficial y línea de edificación. Este espacio se denomina cañón urbano y su morfología afecta el comportamiento de los vientos. En la medida que se mantiene una relación H/W de 1 las corrientes de aire tienen a pasar sobre las estructuras, disminuyendo la intensidad de turbulencias y vórtices.



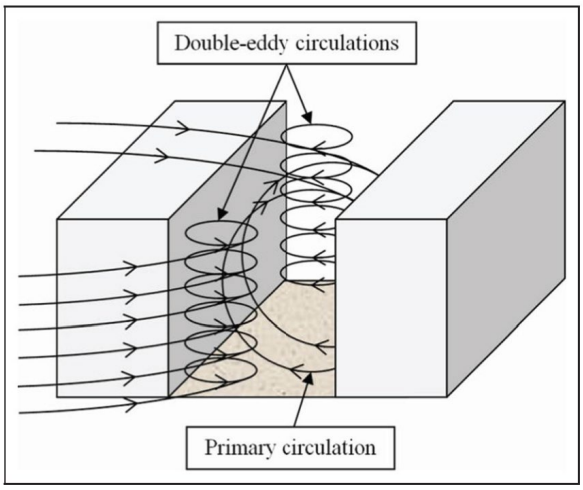


Figura 173. (sup) Parámetros morfológicos de un cañón urbano. Fuente Yazid et al.
Figura 174. (inf) Generación de turbulencias (movimiento cilíndrico paralelo al suelo) y vórtices (movimiento cilíndrico perpendicular al suelo) con viento perpendicular al cañón urbano. Fuente Yazid et al.

Criterios de factibilidad y/o diseño

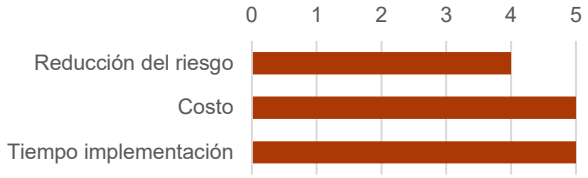
- Considerar factibilidad de aplicación de la medida en nuevas zonas de desarrollo.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación de los vientos a escala local.	• Reducir la intensidad de turbulencias y vórtices en el tejido urbano.	• Normativa implementada en el IPT.

Podar o quitar árboles y ramas muertas, dañadas o podridas

47

Amenazas		**Evaluación**
Tipo	PR	
Ámbito espacial	TU	



Descripción

Programa de monitoreo y manejo de árboles para evitar la caída de árboles dañados o ramas durante eventos de vientos de alta velocidad.

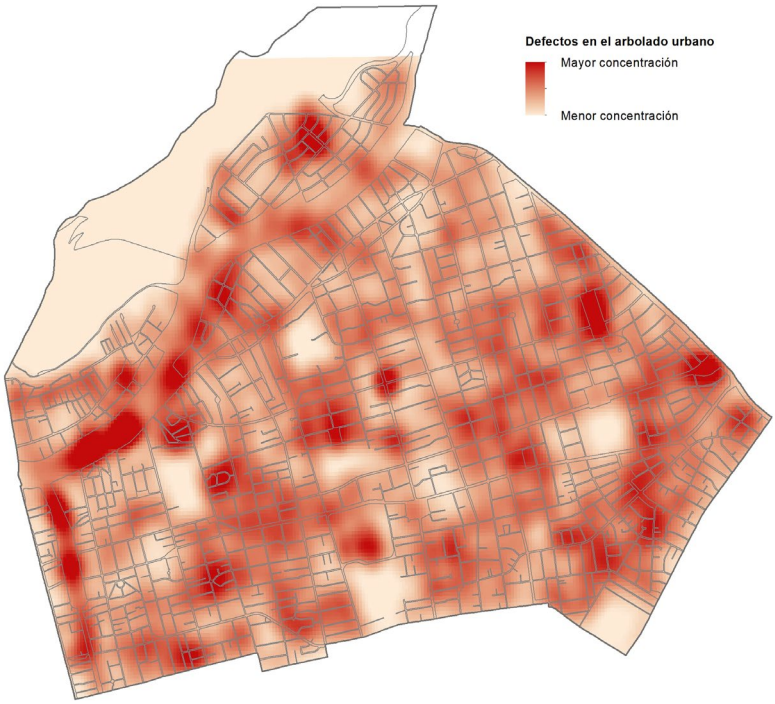


Figura 175. Distribución territorial de la concentración de defectos en el arbolado urbano. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Providencia.

Criterios de factibilidad y/o diseño

- Considerar un monitoreo recurrente (estacional).
- Considerar un manejo priorizado por calles según cobertura arbórea, cantidad de árboles y estado de los árboles.

Funciones	Beneficios	Indicadores de monitoreo
• Regulación del impacto de los vientos.	• Disminuir los impactos en personas y bienes por caída de ramas. • Manejo integral del arbolado urbano.	• Monitoreo recurrente (estacional) de defectos en el arbolado urbano implementado.

Anexo 2. Entregables digitales: sistema de gestión SIG y estadísticas Excel

I. ORGANIZACIÓN DE LOS ENTREGABLES DIGITALES

Los entregables digitales se organizan en una estructura de carpetas y subcarpetas. Hay dos carpetas principales Excel y SIG. La primera contiene archivos tabulares en formato *.xlsx, mientras que la segunda incorpora archivos geoespaciales en diversos formatos, tales como *gdb (geodatabase), *.shp (shapefile), *tif (raster) y *.dbf (tabla asociada a shapefile).

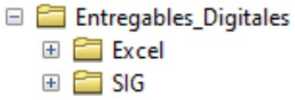


Figura 176. Estructura de carpeta de los entregables digitales. Fuente: elaboración propia.

II. ENTREGABLES DIGITALES

1. Sistema de gestión SIG

En esta carpeta se incluyen los productos geoespaciales correspondientes al riesgo y sus componentes que han servido como insumo para los análisis desplegados en el informe. De esta forma, los productos geoespaciales y su organización conforman un sistema de gestión que han hecho posible concretar los objetivos del estudio:

- Evaluar el riesgo climático y sus componentes.
- Determinar áreas homogéneas y prioritarias de riesgo.
- Determinar las medidas de adaptación en función del riesgo por Unidad Vecinal.

La estructura de subcarpetas es temática. Cada una contiene diversos archivos geoespaciales los que pueden ser abiertos en plataformas SIG como ArcMap, ArcGIS Pro o QGIS. Para más información sobre el tipo de archivos, ver E2 punto III (Levantamiento y sistematización de la información). En la página siguiente se detallan los archivos geoespaciales.

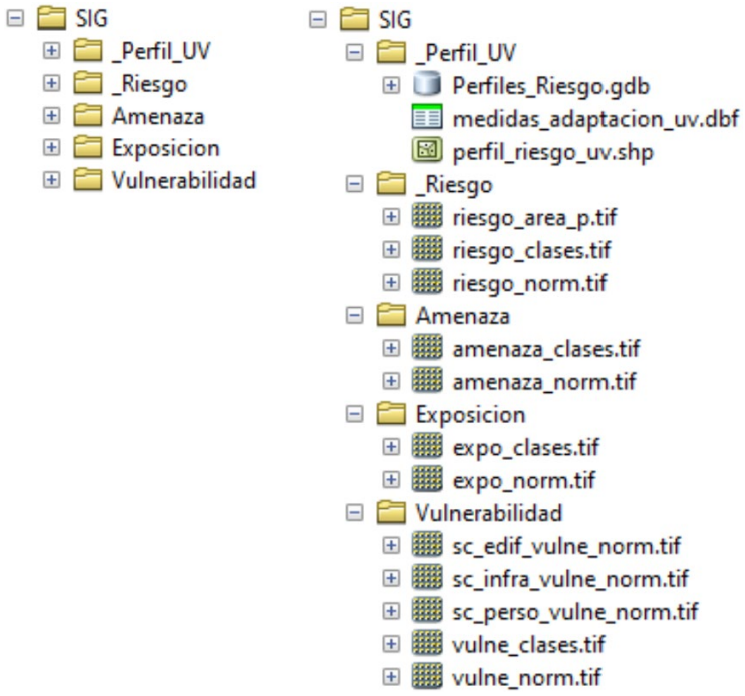
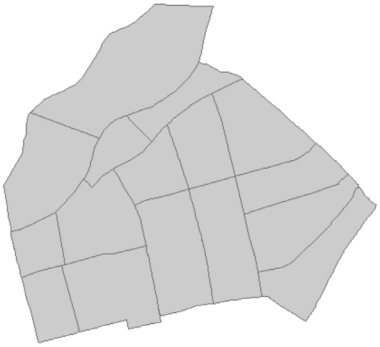
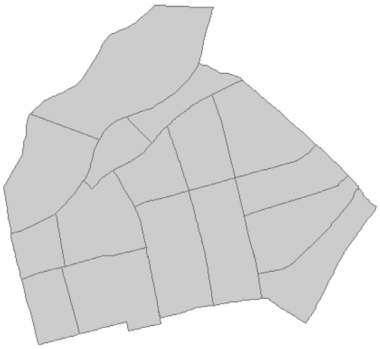
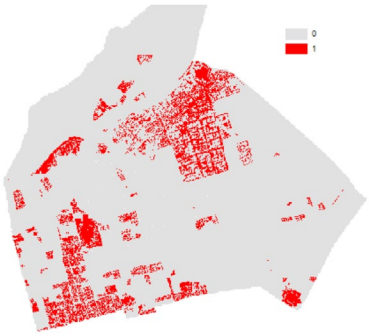
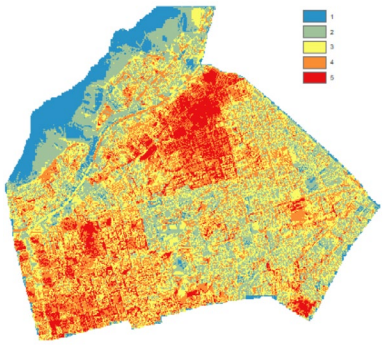
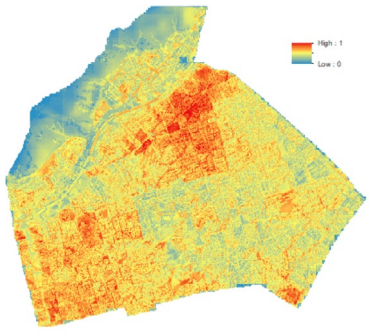
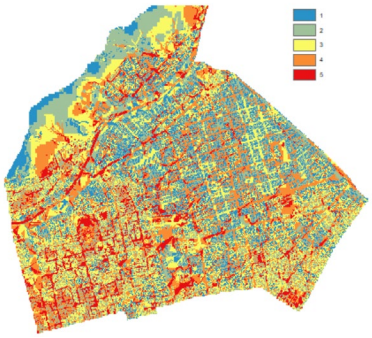
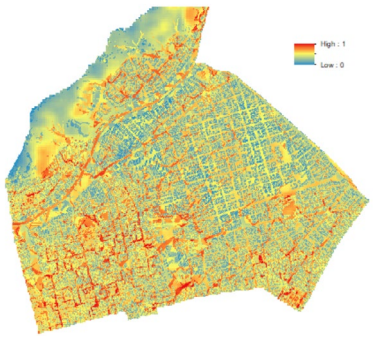
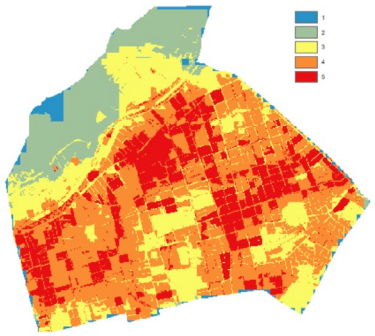
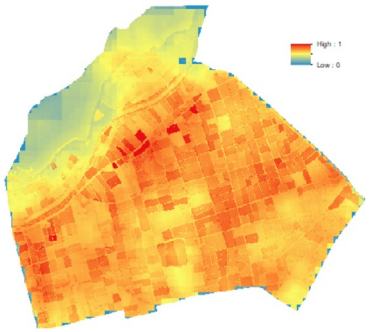
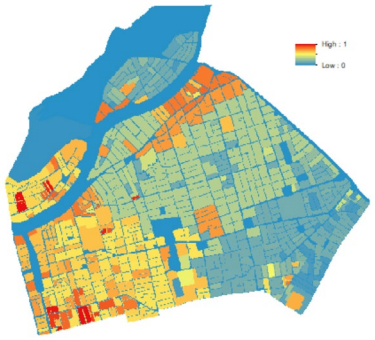
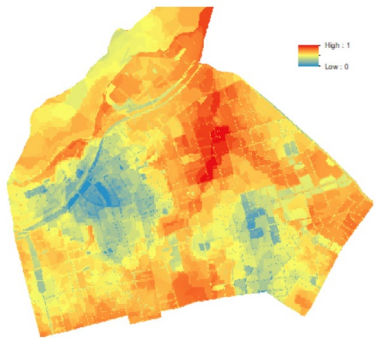


Figura 177. Estructura de carpeta y subcarpetas de productos geoespaciales. Fuente: Elaboración propia.

Nombre de archivo	Formato	Descripción	Imagen referencial
Perfiles_Riesgo.gdb	*.gdb Geodatabase	Geodatabase con perfil de riesgo por unidad vecinal. Contiene la misma información que el shapefile “prefil_riesg_uv”. Ver punto III en E4 para detalle y descripción de los campos de atributos.	
medidas_adaptacion_uv	*dbf Formato tabla desplegable en software SIG, la cual puede o no estar asociada a un shapefile.	Tabla con medidas de adaptación recomendadas para cada unidad vecinal. Esta tabla puede ser “relacionada” con el shapefile “perfil_riesgo_uv”. Ver punto III en E4 para detalle y descripción de los campos de atributos.	n/a
perfil_riesgo_uv.shp	*.shp Shapefile	Shapefile de Unidades Vecinales con campos de información correspondientes al perfil de riesgo. Ver punto III en E4 para detalle y descripción de los campos de atributos.	
riesgo_area_p.tif	*.tif Raster	Áreas prioritarias de riesgo. Clases: 1: área prioritaria 0: no es área prioritaria	

Nombre de archivo	Formato	Descripción	Imagen referencial
riesgo_clases.tif	*.tif Raster	Zonas homogéneas de riesgo. Clases: 1: Muy bajo 2: Bajo 3: Medio 4: Alto 5: Muy Alto	
riesgo_norm.tif	*.tif Raster	Riesgo climático normalizado. Valores entre 0 y 1. A mayor valor, mayor riesgo. Se recomienda clasificar los valores utilizando el método de “quiebres naturales”.	
amenaza_clases.tif	*.tif Raster	Índice de amenaza en clases. Clases: 1: Muy baja 2: Baja 3: Media 4: Alta 5: Muy alta	
amenaza_norm.tif	*.tif Raster	Índice de amenaza normalizado. Valores entre 0 y 1. A mayor valor, mayor amenaza. Se recomienda clasificar los valores utilizando el método de “quiebres naturales”.	

Nombre de archivo	Formato	Descripción	Imagen referencial
expo_clases.tif	*.tif Raster	Índice de exposición en clases. Clases: 1: Muy baja 2: Baja 3: Media 4: Alta 5: Muy alta	
expo_norm.tif	*.tif Raster	Índice de exposición normalizado. Valores entre 0 y 1. A mayor valor, mayor exposición. Se recomienda clasificar los valores utilizando el método de “quiebres naturales”.	
sc_edif_vulne_norm.tif	*.tif Raster	Vulnerabilidad para el sistema crítico “edificaciones”. Valores entre 0 y 1. A mayor valor, mayor vulnerabilidad.	
sc_infra_vulne_norm.tif	*.tif Raster	Vulnerabilidad para el sistema crítico “infraestructura y equipamiento”. Valores entre 0 y 1. A mayor valor, mayor vulnerabilidad.	

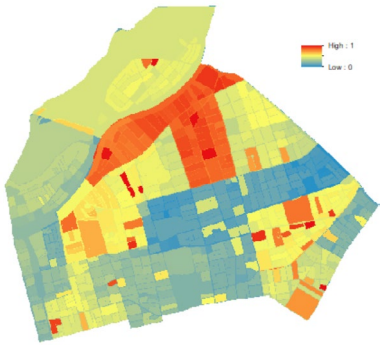
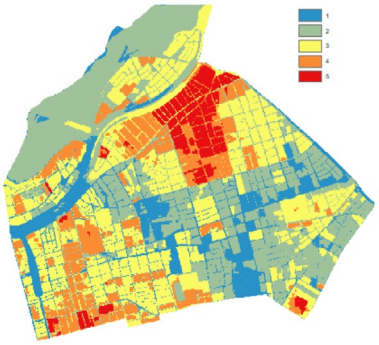
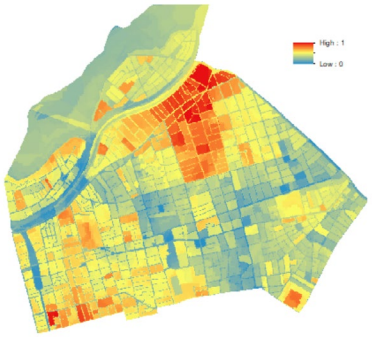
Nombre de archivo	Formato	Descripción	Imagen referencial
sc_perso_vulne_norm.tif	*.tif Raster	Vulnerabilidad para el sistema crítico “personas”. Valores entre 0 y 1. A mayor valor, mayor vulnerabilidad.	
vulne_clases.tif	*.tif Raster	Índice de vulnerabilidad en clases. Clases: 1: Muy baja 2: Baja 3: Media 4: Alta 5: Muy alta	
vulne_norm.tif	*.tif Raster	Índice de vulnerabilidad normalizado. Valores entre 0 y 1. A mayor valor, mayor vulnerabilidad. Se recomienda clasificar los valores utilizando el método de “quiebres naturales”.	

Tabla 41. Descripción de los archivos geoespaciales. Fuente: elaboración propia.

2. Estadísticas en Excel

Si bien no forman parte de los entregables comprometidos, se agregaron una serie de archivos tabulares en formato Excel con información relevante expuesta en el informe. La carpeta Excel no posee subcarpetas, sólo archivos:

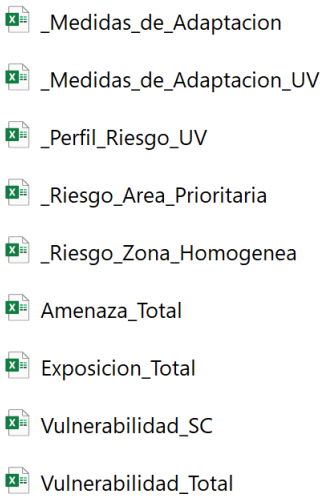


Figura 178. Archivos en formato Excel. Fuente: Elaboración propia.

La tabla a continuación detalla el contenido de cada archivo:

Nombre de archivo	Formato	Descripción por pestaña (tab)
_Medidas_de_Adaptacion	*.xlsx (Excel)	• **Medidas**: Listado con 47 medidas de adaptación indicando: tipo de medida, ámbito espacial (primario y secundario), amenaza (primaria, secundaria y terciaria), evaluación (reducción del riesgo, costo y tiempo de implementación).
_Medidas_de_Adaptacion_UV	*.xlsx (Excel)	• **Medidas_UV:** Listado de medidas de adaptación asignadas a cada Unidad Vecinal según el perfil de riesgo. Además del nombre de la medida se incluye el tipo de medida, ámbito espacial (primario y secundario), amenaza (primaria, secundaria y terciaria), evaluación (reducción del riesgo, costo y tiempo de implementación).
_Perfil_Riesgo_UV	*.xlsx (Excel)	• **Diccionario**: Significado de los campos de la tabla con datos del perfil por unidad vecinal. • **Perfil_UV**: Tabla con estadísticas incluidas en el perfil de cada unidad vecinal. Las estadísticas corresponden a: ○ Riesgo superficie (ha): Superficie (ha) por UV en cada clase de riesgo. ○ Riesgo %: Porcentaje de superficie de UV en cada clase de riesgo. ○ Área Prioritaria: Superficie (ha) de área prioritaria por UV; % de UV que no es área prioritaria y % de UV que corresponde a área prioritaria. ○ Amenaza: Superficie (ha) de UV según nivel de amenaza “muy alta”; % de UV según nivel de amenaza “muy alta”.

Nombre de archivo	Formato	Descripción por pestaña (tab)
		○ Exposición: Superficie (ha) de UV según nivel de exposición “muy alto”; % de UV según nivel de exposición “muy alto”. ○ Componentes de vulnerabilidad: Valor normalizado de la vulnerabilidad para cada componente. Los valores van entre 0 y 1. A mayor valor, mayor es la vulnerabilidad. ○ Dimensiones de vulnerabilidad: Valor normalizado de la vulnerabilidad para cada dimensión. Los valores van entre 0 y 1. A mayor valor, mayor es la vulnerabilidad.
_Riesgo_Area_Prioritaria	*.xlsx (Excel)	• **AP_Escenarios**: Estadísticas con cada escenario de área prioritaria evaluado. Se indica el área en m^2 y ha que cumple y no con el criterio de área prioritaria. • **AP_Escenario5_UV**: % de superficie de UV y área de UV (ha) que cumple y no cumple con el criterio de área prioritaria para el escenario seleccionado.
_Riesgo_Zona_Homogenea	*.xlsx (Excel)	• **Riesgo_Comuna**: Superficie (ha) a escala comunal en cada zona homogénea de riesgo (clases). • **Riesgo_UV**: % de superficie de UV y área de UV (ha) en cada zona homogénea de riesgo (clases).
Amenaza_Total	*.xlsx (Excel)	• **Amenaza_Comuna**: Superficie (ha) a escala comunal según nivel (clase) de amenaza. • **Amenaza_UV**: % de superficie de UV y área de UV (ha) según nivel (clase) de amenaza.
Exposicion_Total	*.xlsx (Excel)	• **Expo_Comuna**: Superficie (ha) a escala comunal según nivel (clase) de exposición. • **Expo_UV**: % de superficie de UV y área de UV (ha) según nivel (clase) de exposición.
Vulnerabilidad_SC	*.xlsx (Excel)	• **SC_Personas**: Promedio de vulnerabilidad para el sistema crítico “personas” para cada UV. Valores entre 0 y 1. A mayor valor, mayor es la vulnerabilidad. • **SC_Edificaciones**: Promedio de vulnerabilidad para el sistema crítico “edificaciones” para cada UV. Valores entre 0 y 1. A mayor valor, mayor es la vulnerabilidad. • **SC_Infra_Equip**: Promedio de vulnerabilidad para el sistema crítico “infraestructura y equipamiento” para cada UV. Valores entre 0 y 1. A mayor valor, mayor es la vulnerabilidad.
Vulnerabilidad_Total	*.xlsx (Excel)	• **Vul_Comuna**: Estadísticas de vulnerabilidad a escala comunal. Se incluye superficie por nivel (clase) de vulnerabilidad y % de superficie comunal según clase de vulnerabilidad. • **Vul_UV**: % de superficie de UV y área de UV (ha) por nivel (clase) de vulnerabilidad.

Tabla 42. Descripción de los archivos Excel. Fuente: Elaboración propia

Referencias

REFERENCIAS GENERALES

Adapt Chile. (2019). Guía para Gestión Local del Cambio Climático.

Banerjee, A., Chen, R., Meadows, M. E., Sengupta, D., Pathak, S., Xia, Z., et al. (2021). Tracking 21st century climate dynamics of the Third Pole: An analysis of topo-climate impacts on snow cover in the central Himalaya using Google Earth Engine. Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinf. 103, 102490.

Cao, X., Feng, Y. & Shi, Z. Spatio-temporal Variations in Drought with Remote Sensing from the Mongolian Plateau During 1982–2018. Chin. Geogr. Sci. 30, 1081–1094 (2020).

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).

Cohen, N., Freudenberg, N., & Willingham, C. (2017). Growing a Regional Food Shed in New York: Lessons from Chicago, Toronto and Cincinnati. CUNY Urban Food Policy Institute.

CONAMA. (2006). Estrategia Nacional de Cambio Climático.

CONAMA. (2012). Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2008-2012 (PNACC I).

Ermida SL, Soares P, Mantas V, Göttsche F-M, Trigo IF. Google Earth Engine Open-Source Code for Land Surface Temperature Estimation from the Landsat Series. Remote Sensing. 2020; 12(9):1471. https://doi.org/10.3390/rs12091471

FAO. (2018). Sustainable food systems. Concept and framework.

Forman, Richard T. T. (2014). Urban Ecology. Science of Cities. Cambridge University Press.

GeoAdaptive. (2020). Informe de riesgos climáticos para la Región Metropolitana.

GORE RM, MMA, CAS. (2012). Propuesta de Plan de Adaptación al Cambio Climático para la Región Metropolitana de Santiago de Chile.

GORE RM. (2017). Estrategia de Resiliencia Región Metropolitana de Santiago.

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

IPCC. (2014). Cambio climático: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para Las responsabilidades políticas, 33.

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.

MINAGRI, CONAF. (2016). Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales 2017-2025.

MMA. (2014). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático.

MMA. (2017). Cambio Climático en la Región Metropolitana.

MMA. (2018). Plan de Adaptación al Cambio Climático para Ciudades 2018-2022.

MMA. (2022). Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022 (PNACC II).

Muncipalidad de Providencia. (2015). Plan local de cambio climático Comuna de Providencia.

Muncipalidad de Providencia. (2020). Estudio de riesgo y vulnerabilidad climática. Documento Maestro.

Municipalidad de Providencia. (2020). Estrategia hídrica local 2020-2030 Municipalidad de Providencia.

Oficina de Cambio Climático de la Sección de Climatología de la Dirección Meteorológica de Chile. (2021). Reporte anual de la evolución del clima en Chile 2020. DGAC-DMC.

Oficina de Cambio Climático de la Sección de Climatología de la Dirección Meteorológica de Chile. (2022). Reporte anual de la evolución del clima en Chile 2021. DGAC-DMC.

Oke, T.R (1988). "Street design and urban canopy layer climate". Energy and Buildings. 11 (1–3): 103–113. doi:10.1016/0378-7788(88)90026-6

ONEMI. (2012). Díptico Inundaciones. Oficina Nacional de Emergencias.

ONEMI. (2017). Plan regional específico de emergencia por variable de riesgo remoción en masa borde costero Región de Antofagasta. 43.

ONEMI. (2021). Glosario gestión del riesgo de desastres. ONEMI: Ministerio del Interior y Seguridad Pública. ONEMI: Ministerio del Interior y Seguridad Pública.

Prakash M, Ramage S, Kavvada A, Goodman S. Open Earth Observations for Sustainable Urban Development. Remote Sensing. 2020; 12(10):1646.

SECPLA. (2005). Estudio de riesgos y protección ambiental Comuna de Providencia.

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

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.

UNISDR. (2009). Terminología sobre Reducción de Riesgo del Desastres. Naciones Unidas.

Virgílio A. Bento, Célia M. Gouveia, Carlos C. DaCamara, Renata Libonati, Isabel F. Trigo, The roles of NDVI and Land Surface Temperature when using the Vegetation Health Index over dry regions, Global and Planetary Change, Volume 190, 2020, 103198, ISSN 0921-8181,.

von Stulpnagel, A., Horbert, A. and Sukkop, H. (1990).The importance of vegetation for the urban climate. In Urban Ecology, eds. H Sukkop, S. Henjy and I. Kowarik. The Hague, Netherlands: SPB Academic Publishing, pp. 175-193.

Yazid, Muhammad & Che Sidik, Nor Azwadi & Salim, Salim M. & Saqr, Khalid. (2014). A review on the flow structure and pollutant dispersion in urban street canyons for urban planning strategies. Simulation. 90. 10.1177/0037549714528046.

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 PARA LA SELECCIÓN DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Adjuntament de Barcelona. (2018). Barcelona Climate Action Plan.

C40 Cities Climate Leadership Group, Global Platform for Sustainable Cities (GPSC). (2020). Integrating Climate Adaptation. A toolkit for urban planners and adaptation practitioners.

C40 Cities, McKinsey Sustainability. (2021). Focused adaptation. A strategic approach to climate adaptation in cities.

City of Boston, Sasaki, Klimaat, All Aces, WSP. (2022). Heat resilience solutions for Boston.

City of Cape Town. (2022). City of Cape Town Climate Action Plan.

City of Los Angeles, 100 Resilient Cities. (2018). Resilient Los Angeles.

City of Los Angeles. (2019). L.A.'s Green New Deal. Sustainable City Plan.

Federal Emergency Management Agency. Protect your property from severe winds.

GORE RM, MMA, CAS. (2012). Propuesta de Plan de Adaptación al Cambio Climático para la Región Metropolitana de Santiago de Chile.

GORE RM. (2017). Santiago humano y resiliente. Estrategia de Resiliencia Región Metropolitana de Santiago.

MMA. (2018). Plan de Adaptación al Cambio Climático para Ciudades 2018-2022.

Municipalidad de Providencia. (2015). Plan local de cambio climático Comuna de Providencia.

Municipalidad de Providencia. (2020). Estrategia hídrica local 2020-2030 Municipalidad de Providencia.

Muñoz, J. C., J. Barton, D. Frías, A. Godoy, W. Bustamante Gómez, S. Cortés, M. Munizaga, C. Rojas y E. Wagemann. (2019). Ciudades y cambio climático en Chile: Recomendaciones desde la evidencia científica. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

NCY Mayor's Office of Resliency. (2020). Climate Resiliency Design Guidelines.

The City and County of San Francisco. (2020). Hazards and Climate Resilience Plan.

The City and County of San Francisco. (2021). San Francisco Climate Action Plan.

World Bank, GFDRR, Global Program on Nature-Based Solutions for Climate Resilience. (2021). A catalogue of Nature Based Solutions for urban resilience.

Yazid, Muhammad & Che Sidik, Nor Azwadi & Salim, Salim M. & Saqr, Khalid. (2014). A review on the flow structure and pollutant dispersion in urban street canyons for urban planning strategies. Simulation. 90. 10.1177/0037549714528046.

REFERENCIAS PARA EL DISEÑO DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Inundación

Biswas, S.K., Raj, P., R S, L., Balaganesan, B., & KP, S. (2019). The Sponge Handbook: Chennai - Using the Landscape Approach to transform the South Buckingham Canal Area. GIZ.

California Department of Transportation, HQ Division of Design. (2021). Infiltration Gallery. Design Guidance.

Center for Watershed Protection. (2015). New York State Stormwater Design Manual. Department of Environmental Protection.

Department of Energy and Environment Natural Resources Administration Regulatory Review Division, Washington DC. (2017). Green Area Ratio Handbook.

Massachusetts Department of Environmental Protection. (2008). Massachusetts Stormwater Handbook.

Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas. (2013). Manual de Drenaje Urbano. Capítulo 5. Técnicas de Diseño de Redes.

Nevue Ngan Associates, Eisen Letunic, Van Meter Williams Pollack LLP & ICF International (2009). Stormwater Management Handbook. Implementing Green Infrastructure in Northern Kentucky Communities.

Patagua, Fundación Legado Chile y Pontificia Universidad Católica de Chile. (2021). Ciudades sensibles al agua. Guía de drenaje urbano sostenible para la Macrozona Sur de Chile. Volumen II.

Sprouse, Charles E., III, Conrad Hoover, Olivia Obritsch, and Hannah Thomazin. (2020). "Advancing Pervious Pavements through Nomenclature, Standards, and Holistic Green Design" Sustainability 12, no. 18: 7422. https://doi.org/10.3390/su12187422

Toronto and Region Conservation Authority. (2016). Low Impact Development Stormwater Management Practice Inspection and Maintenance Guide.

Ola de calor

Alejandra Vargas R. (2020). Manejo de árboles urbanos. Universidad Católica de Chile.

Auckland Design Manual (2023). Drinking Fountains and Showers.

Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción. (2012). Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos.

City of Melbourne. (2011). Urban Forest Strategy. Making a Great City Greener 2012-2032.

City Planning Division, Parks & Recreation Department, Streets Infrastructure Department, Strategic Development Unit. (2022). Open Space Shade Policy Planning Guidelines for Landscaping & Architectural Design Plans and Municipal Projects. Tel Aviv.

Corporación de Desarrollo Tecnológico, Cámara Chilena de la Construcción. (2016). Manual de (Re)Acondicionamiento Térmico. Una guía para el dueño de casa.

Department of Human Services Victorian Government. (2009). Heatwave Planning Guide. Development of heatwave plans in local councils in Victoria.

Global Cool Cities Alliance (GCCA), R20 Regions of Climate Action. (2012). A Practical Guide to Cool Roofs and Cool Pavements.

Hoehne, C. G., Chester, M. V., Sailor, D. J., & King, D. A. (2020). Urban Heat Implications from Parking, Roads, and Cars: a Case Study of Metro Phoenix. In Sustainable and Resilient Infrastructure (Vol. 7, Issue 4, pp. 272–290). Informa UK Limited. https://doi.org/10.1080/23789689.2020.1773013

International Labour Organization. (2019). Working on a warmer planet. The impact of heat stress on labour productivity and decent work.

Manual Hazlo Sustentable. Jardines Sustentables (s.f.). Municipalidad de Providencia.

Municipalidad de Providencia. (2021). Arbolado Urbano. Desafíos ante el Cambio Climático.

Oregon State Universty. (2009). Tree Protection on Construction and Development Sites. A Best Management Practices Guidebook for the Pacific Northwest.

Regina Vetter (Adaptation Senior Manager for Urban Heat at C40). (2021). Cool Surfaces. Experiences from the C40's Cool Cities Network.

Sciaraffia, Flavio., Biswas Kumar, Sourav., Nideroest, Thomas and Zander, Hannes. (2019). From the South: Global Perspectives on Landscape and Territory – Desde el Sur: Perspectivas Globales sobre Paisaje y Territorio. Santiago, Chile: Universidad del Desarrollo.

Tahvonen, O. (2018). Scalable Green Infrastructure—The Case of Domestic Private Gardens in Vuores, Finland. Sustainability, 10(12), 4571. https://doi.org/10.3390/su10124571.

U.S. Environmental Protection Agency. (2008). Urban Heat Island Basics. In: Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies.

Urban Green Blue Grids. (s.f.). Reducing heat with water. Recuperado el April 6, 2023, from https://www.urbangreenbluegrids.com/heat/reducing-heat-with-water/

Wang, C., Wang, Z.-H., Kaloush, K. E., & Shacat, J. (2021). Cool pavements for urban heat island mitigation: A synthetic review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 146, 111017. doi: 10.1016/j.rser.2021.111017.

Western Sydney Regional Organisation of Councils. (2018). Turn down the heat. Strategy and action plan.

Sequía

Decreto Exento No. 1.029, Fija texto refundido de la ordenanza de ornato N°1 de 2003, Julio 1, 2003, Diario Oficial [D.O.] (Chile).

Ley No. 21.075, Regula la recolección, reutilización y disposición de aguas grises, Febrero 1, 2018, Diario Oficial [D.O.] (Chile).

Ordenanza No. 2, Ordenanza de gestión hídrica local, Febrero 6, 2020.

Sciaraffia, Flavio. (2012). Disruption, A Technology Catalog / Disrupción, Un Catálogo de Tecnlologías. In Alonso, Pedro (Ed.), DESERTA, Ecology and Industry in the Atacama Desert (pp. 188-225). Santiago, Chile: Eds. Universidad Católica de Chile. ISBN 978-956-141-235-4.

Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2021). Informe de gestión sector sanitario 2021.

Vio, F., Soler, J., & Gonzáles, V. (Huerto Cuatro Estaciones). (2020). Manual para la innovación. Huerto orgánico regenerativo biointensivo. Consultoría Agrícola Rural Ltda.

Flavio Sciaraffia Márquez