

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**EVALUACIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO ANTE EVENTOS DE CALOR
EXTREMO EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN DE LA COMUNA EL
BOSQUE**

CLEMENTE LUCO ALVAREZ

Santiago, Chile

2022

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**EVALUACIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO ANTE EVENTOS DE CALOR
EXTREMO EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN DE LA COMUNA EL
BOSQUE**

**CLIMATE RISK ASSESSMENT IN THE EVENT OF EXTREME HEAT FOR
EL BOSQUE'S POPULATION HEALTH**

CLEMENTE LUCO ALVAREZ

Santiago, Chile

2022

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**EVALUACIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO ANTE EVENTOS DE CALOR
EXTREMO EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN DE LA COMUNA EL
BOSQUE**

Memoria para optar al Título Profesional de:
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

CLEMENTE LUCO ALVAREZ

Profesor Guía

Sr. Gerardo Ubilla Bravo
Geógrafo, Dr. MSc. Mg.

Firmado digitalmente por
Gerardo Ubilla Bravo
Fecha: 04/03/2022
Hora: 09:40

Calificaciones

6.4

Profesores Evaluadores

Sr. Juan Manuel Uribe M.
Ingeniero Agrónomo.

Juan
Manuel
Uribe
Meneses
Firmado digitalmente por
Juan Manuel
Uribe Meneses
Fecha: 2022.06.04
11:26:16 -04'00'

6.8

Sr. Rodrigo Fuster G.
Ingeniero Agrónomo, M.S. Dr.

Rodrigo
Fuster Gomez
14.243.708-2
03/06/2022 - 11:56
UNIVERSIDAD
DE CHILE
ESTE DOCUMENTO CONTIENE FIRMA ELECTRÓNICA AVANZADA
<https://ceropapel.uchile.cl/validacion/verificador>
CV: 629a2f3d4b0db9de5f1be30f

6.8

Santiago, Chile

2022

A mi familia y amigos

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer a mis padres Catalina y Gonzalo, por su paciencia y esfuerzo. A mi hermana Paula por todas las copuchas y consejos. Agradezco también a mi pareja Tamara, por brindarme el apoyo y determinación necesarios para completar este trabajo. A mi prima y futura colega Amanda, por su amadrinamiento y guía durante mi paso por Antumapu. A mis amigos Nataniel y Benjamín, por su paciencia al momento de enseñarme a programar y a mis amigos de la universidad por hacer de esta, una de las mejores etapas de mi vida hasta el momento.

Por último, al profesor Gerardo Ubilla Bravo, por guiarme en esta última etapa de mi paso por la universidad.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
Objetivo General	5
Objetivos específicos	5
MATERIALES Y MÉTODOS	6
Área de Estudio	6
Materiales	8
Métodos	11
Cadena de impactos	12
Evaluación multicriterio con lógica difusa y construcción de índices	13
Método para el cálculo de los índices	15
Peligro	15
Vulnerabilidad	17
Sensibilidad	17
Capacidad de respuesta	20
Exposición	25
Riesgo	26
RESULTADOS	27
Indicadores de Peligro	27
Indicadores de Sensibilidad	29
1. Densidad poblacional por zona censal	29
2. Porcentaje de menores de 5 años por zona censal	31
3. Porcentaje de personas mayores de 65 años	33
4. Porcentaje de trabajadores al aire libre	35
5. Porcentaje de personas con reducida escolaridad	37
6. Porcentaje de inmigrantes	39
7. Porcentaje de viviendas hacinadas	41
8. Porcentaje de adultos mayores que viven solos	43
9. Porcentaje de viviendas con materialidad aceptable	45
10. Promedio del índice SAVI	47

Indicadores de Equipamiento Social	49
1. Cobertura de bomberos	49
2. Cobertura de carabineros	51
3. Cobertura de salud pública	53
Indicadores de Planificación Institucional	55
Indicador de Exposición	56
1. Total de personas por zona censal	56
Resultados de los índices: Peligro, Sensibilidad, Capacidad de Respuesta, Vulnerabilidad, Exposición y Riesgo.	58
1. Peligro	58
2. Sensibilidad	58
3. Capacidad de respuesta	61
4. Vulnerabilidad	63
5. Exposición	65
6. Riesgo	67
DISCUSIÓN	70
Importancia y utilidad práctica del trabajo	70
Relación del trabajo con otros similares	71
Reflexiones sobre el trabajo metodológico	71
CONCLUSIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	76
APÉNDICES	84

Índice de cuadros

Cuadro 1: Variables utilizadas en el cálculo de los indicadores, con su respectiva fuente	8
Cuadro 2: Indicadores utilizados en el cálculo del índice de Peligro	15
Cuadro 3: Reglas lógicas del índice de Peligro.....	16
Cuadro 4: Reglas lógicas del índice Vulnerabilidad	17
Cuadro 5: Indicadores utilizados en el cálculo del índice de Sensibilidad	17
Cuadro 6: Reglas lógicas del índice Sensibilidad	20
Cuadro 7: Indicadores para el cálculo del índice Capacidad de Respuesta	20
Cuadro 8: Reglas lógicas del índice de Equipamiento Social.....	24
Cuadro 9: Reglas lógicas del índice de Exposición	25
Cuadro 10: Resultados de los indicadores de Peligro	27
Cuadro 11: Promedio, máximo y mínimo de los indicadores de Peligro.....	27
Cuadro 12: Densidad poblacional por zona censal	29
Cuadro 13: Porcentaje de menores de 5 años por zona censal.....	31
Cuadro 14: Porcentaje de personas mayores de 65 años por zona censal.....	33
Cuadro 15: Porcentaje de trabajadores al aire libre por zona censal.....	35
Cuadro 16: Porcentaje de personas con reducida escolaridad por zona censal.....	37
Cuadro 17: Porcentaje de inmigrantes por zona censal	39
Cuadro 18: Porcentaje de viviendas hacinadas por zona censal	41
Cuadro 19: Porcentaje de adultos mayores que viven solos por zona censal	43
Cuadro 20: Porcentaje de viviendas con materialidad aceptable por zona censal	45
Cuadro 21: Promedio del índice SAVI por zona censal	47
Cuadro 22: Cobertura de bomberos por zona censal	49
Cuadro 23: Cobertura de carabineros por zona censal.....	51
Cuadro 24: Cobertura de salud por zona censal.....	53
Cuadro 25: Indicadores de Planificación institucional.....	55
Cuadro 26: Número de personas por zona censal	56
Cuadro 27: Índice de Sensibilidad	59
Cuadro 28: Índice de Capacidad de Respuesta	61
Cuadro 29: Índice de Vulnerabilidad	63
Cuadro 30: Índice de Exposición	65
Cuadro 31: Índice de Riesgo	68

Índice de figuras

Figura 1: Área de estudio, comuna El Bosque.....	6
Figura 2: Subdivisiones comunales según PLADECO y zonas censales 2002–2017.	7
Figura 3: Cadena de impactos.....	12
Figura 4: Funciones de membresía	14
Figura 5: Comportamiento histórico de las olas de calor de 25, 28 y 30°C y los días con más de 34°C	28
Figura 6: Densidad poblacional por zona censal.....	30
Figura 7: Porcentaje de menores de 5 años por zona censal.....	32
Figura 8: Porcentaje de personas mayores de 65 años por zona censal.....	34
Figura 9: Porcentaje de trabajadores al aire libre por zona censal.....	36
Figura 10: Porcentaje de personas con reducida escolaridad por zona censal.....	38
Figura 11: Porcentaje de inmigrantes por zona censal.....	40
Figura 12: Porcentaje de viviendas hacinadas por zona censal.....	42
Figura 13: Porcentaje de adultos mayores que viven solos por zona censal.....	44
Figura 14: Porcentaje de viviendas con materialidad aceptable por zona censal	46
Figura 15: Promedio del índice SAVI por zona censal.....	48
Figura 16: Cobertura de bomberos por zona censal.....	50
Figura 17: Cobertura de carabineros por zona censal	52
Figura 18: Cobertura de salud por zona censal	54
Figura 19: Número de personas por zona censal	57
Figura 20: Índice de Sensibilidad.....	60
Figura 21: Índice de Capacidad de Respuesta.....	62
Figura 22: Índice de Vulnerabilidad	64
Figura 23: Índice de Exposición	66
Figura 24: Índice de Riesgo	69

RESUMEN

En el presente estudio se realizó una evaluación espacial y temporal del riesgo climático ante calor extremo en la salud de la población de la comuna El Bosque, para los años 2002 - 2017. A partir de fuentes de información secundarias se elaboraron distintos índices que componen el riesgo climático, siguiendo los conceptos del IPCC AR5. Los índices generados fueron: sensibilidad, capacidad de respuesta, vulnerabilidad, peligro, exposición y riesgo. Para la elaboración de los índices se crearon cadenas de impactos y una evaluación multivariable basada en lógica difusa. Los resultados revelan que, los índices de peligro, capacidad de respuesta y sensibilidad aumentaron durante los años 2002 – 2017; el índice de vulnerabilidad se mantuvo estable y el índice de exposición disminuyó. El índice de riesgo aumentó considerablemente en todas las zonas censales de la comuna. Se identificó que el sector sur oriente de la comuna presentó los mayores valores de vulnerabilidad en ambos años de la evaluación, principalmente por su bajo valor en el índice de capacidad de respuesta y alto valor en el índice de sensibilidad. Se concluye que es posible evaluar los impactos del calor extremo en la salud de la población a partir de mapas de riesgo, los cuales podrían ser un buen insumo para la planificación y la elaboración de políticas públicas dada su fácil interpretación. Por último, esta metodología basada en información de fuentes secundarias y lógica difusa tiene el potencial de aplicarse a todas las comunas de Chile.

Palabras clave: Riesgo climático, cadenas de impacto, El Bosque, evaluación espacial y temporal, calor extremo.

ABSTRACT

In the present study, a spatial and temporal assessment of the climate risk in the event of extreme heat for El Bosque's population health was carried out, for the years 2002 - 2017. Based on secondary sources of information, different indices that make up climate risk were elaborated, following the concepts of the IPCC AR5. The generated indices were sensibility, response capacity, vulnerability, hazard, exposure, and risk. The creation of these indices was carried out using impact chains and fuzzy logic. The results show that the indices of hazard, response capacity and sensitivity increased during the studied period, while the vulnerability index remained stable, and the exposure index decreased. The risk index increased significantly in all the commune's census zones. The southeastern sector of the commune had the highest values in the vulnerability index, mainly due to its low response capacity and high sensibility index. It is concluded that assessing the impacts of extreme heat in El Bosque's population health through risk mapping is possible, and that these maps could be a proper input for the planning and making of public policies given their easy interpretation. Finally, the study's methodology based on secondary sources of information and fuzzy logic has the potential to be applied to all of Chile's communes.

Keywords: Climate risk, impact chain, El Bosque, spatial and temporal assessment, extreme heat.

INTRODUCCIÓN

El impacto de las temperaturas extremas en la salud de la población ha tomado especial relevancia en los últimos años (Campbell et al., 2018). Debido al alza constante de la temperatura media mundial y la severidad con la que influye en las tasas de mortalidad, los impactos del calor extremo han sido extensamente estudiados por distintos países del hemisferio norte (Guirguis et al., 2014; Lu et al., 2016; Lemonsu et al. 2015). Especialmente tras los eventos de olas de calor ocurridos en Europa en 2003, en los cuales, Italia, Francia y Portugal tuvieron incrementos en su tasa de mortalidad de 15%, 60% y 40% respectivamente, siendo Francia el más afectado, con 14.802 muertes en 20 días (Kovats et al., 2007). Asimismo, los centros urbanos son especialmente vulnerables ante este tipo de eventos, ya que, la predominancia de superficies absorbentes de calor, como concreto y asfalto, generan el efecto de islas de calor, exacerbando los efectos del calor extremo en la salud de los ciudadanos (Mohajerani et al., 2017). Además, los centros urbanos albergan gran parte de la población, actividad económica e infraestructura física mundial (Satterthwaite, 2007), por lo que es importante entender cómo afectan los eventos climáticos extremos en las ciudades.

Una práctica que ha ganado terreno en el marco de la evaluación del cambio climático son los mapas de riesgo. Estos permiten a quienes toman decisiones adelantarse a la ocurrencia de fenómenos perjudiciales para la población o infraestructura crítica y responder de manera efectiva ante un desastre natural (National Research Council, 2007). Además, ayudan a la identificación de objetos de enlace, los cuales representan puntos de referencia comunes entre los stakeholders y los investigadores (Lynch et al., 2008). Una variable determinante a la hora de evaluar el riesgo es la escala de trabajo. Debido a la gran heterogeneidad de variables socioeconómicas, demográficas y biofísicas que se pueden presentar en un territorio extenso, las respuestas generalizadas para escalas de extensa cobertura, como la nacional, posiblemente no sean acorde a la realidad local, comprometiendo su efectividad. La evaluación del cambio climático a escala local es una herramienta de gran utilidad, aportando información sobre cómo afecta este fenómeno multifactorial a un territorio determinado, ayudando a los gobiernos locales a tomar medidas fundamentadas para proteger a su población (Olcina, 2016). Si bien la información a mayor escala (global y nacional) es importante para identificar tendencias generales, es a nivel local donde se deben ejecutar acciones y prácticas concretas para asegurar su efectividad (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2019). Es por esto, que las escalas regionales y comunales constituyen un escenario ideal para el desarrollo y ejecución de propuestas de adaptación al cambio climático (Olcina, 2016).

Chile no es ajeno los efectos del cambio climático, ya que cumple con 7 de los 9 criterios de vulnerabilidad climática según la CMNUCC (Vivanco, 2019), lo que sitúa al país en una situación de alta vulnerabilidad, la cual se puede ver acentuada si se consideran otros factores como la desigualdad social (Organisation for Economic Cooperation and Development [OECD], 2013). Por su parte, el Área Metropolitana de Santiago concentra alrededor del 40% de la población total del país (Instituto Nacional de Estadísticas [INE], 2017) y, debido a su régimen climático mediterráneo, se encuentra expuesta a altas temperaturas durante las estaciones de primavera y verano (Armesto, 2007).

El presente estudio se enmarca en la comuna El Bosque, ubicada en el sector sur de la ciudad de Santiago. Esta comuna cuenta con un nivel intermedio en el Sistema de Certificación Ambiental Municipal (SCAM), (Municipalidad El Bosque, 2018). Dentro de los esfuerzos municipales enfocados en materias de cambio climático, destaca el recientemente formulado Perfil Climático Local de la Comuna El Bosque (2020). Dicho trabajo tuvo por objetivo describir los efectos y respuestas ante eventos climáticos extremos que han afectado a la comuna en los últimos 10 años. A partir de la revisión de este perfil, la Estrategia Ambiental Comunal y el Diagnóstico Ambiental Municipal y Comunal se deja constancia de que, a pesar de haber identificado la ocurrencia de olas de calor en la comuna, no existe información sobre los impactos negativos de estos eventos, ni de los sectores del territorio más propensos a verse afectados de manera adversa. Tampoco se han desarrollado planes orientados directamente a su mitigación. En este contexto surge la idea de elaborar una herramienta que permita conocer la distribución espacial del riesgo causado por el calor extremo, de manera que sirva como primer paso dentro de una serie de acciones orientadas a diagnosticar los impactos de estos eventos. Los resultados del estudio responden a las siguientes preguntas a partir de mapas cartográficos: ¿cómo se encuentran preparados actualmente los distintos sectores de la comuna respecto al impacto del calor extremo? y ¿cómo cambió la situación, respecto a las potenciales consecuencias del calor extremo, desde el año 2002 al 2017? Utilizando los conceptos del quinto informe del IPCC, el estudio se trata de una representación espacial de vulnerabilidad a escala sub-comunal, a la cual se le añaden las dimensiones de Peligro y Exposición para los años 2002 y 2017, resultando en un estudio de riesgo frente al impacto del calor extremo en la salud de la población para ambos años. Cabe destacar que estos resultados no deben entenderse como predicciones sobre la probabilidad de ocurrencia de un impacto negativo. Mas bien, reflejan la propensión relativa a sufrir un impacto en cada unidad espacial. Esto puede ser de gran utilidad al momento de planificar futuras acciones en el territorio, ya que, tiene el potencial de generar escenarios mediante la modificación de los valores de entrada al modelo.

Objetivo General

Evaluar el riesgo climático del calor extremo en la salud de la población de la comuna El Bosque mediante un índice de riesgo climático, para los años 2002 y 2017.

Objetivos específicos

Caracterizar cada una de las componentes del riesgo: peligro, vulnerabilidad, exposición, sensibilidad y capacidad de respuesta.

Determinar el riesgo climático del calor extremo en la salud de la población.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El estudio se emplaza en la comuna El Bosque, en el sector sur del Área Metropolitana de Santiago, Región Metropolitana de Santiago, Chile. La comuna posee una superficie de 14,1km² y según el Censo de población y vivienda del 2017, residen 162.505 habitantes, con una tasa de masculinidad de 95,48 (INE, 2017a). Su régimen climático es mediterráneo, caracterizado por inviernos fríos y veranos calurosos (Armesto, 2007). La comuna se subdivide en 10 distritos, los cuales corresponden en su totalidad a áreas urbanas. A la subdivisión de estos distritos urbanos se les denomina zonas censales (INE, 2018b). En la comuna El Bosque, dichas unidades tienen alrededor de 30,4 hectáreas y 4.282 habitantes en promedio (INE, 2017a). Se optó por hacer el análisis sub-comunal a escala de zona censal principalmente por la disponibilidad de datos, ya que, siguiendo con la jerarquía del Censo (INE, 2018a), la siguiente unidad más pequeña serían las manzanas, pero gran parte de la información no se encuentra disponible a esa escala, debido a que se puede acceder a información personal y sensible. En la Figura 1 se puede ver una cartografía del área de estudio, y en la Figura 2 las subdivisiones comunales por sector y zona censal utilizadas para el cálculo de los resultados y su posterior análisis.

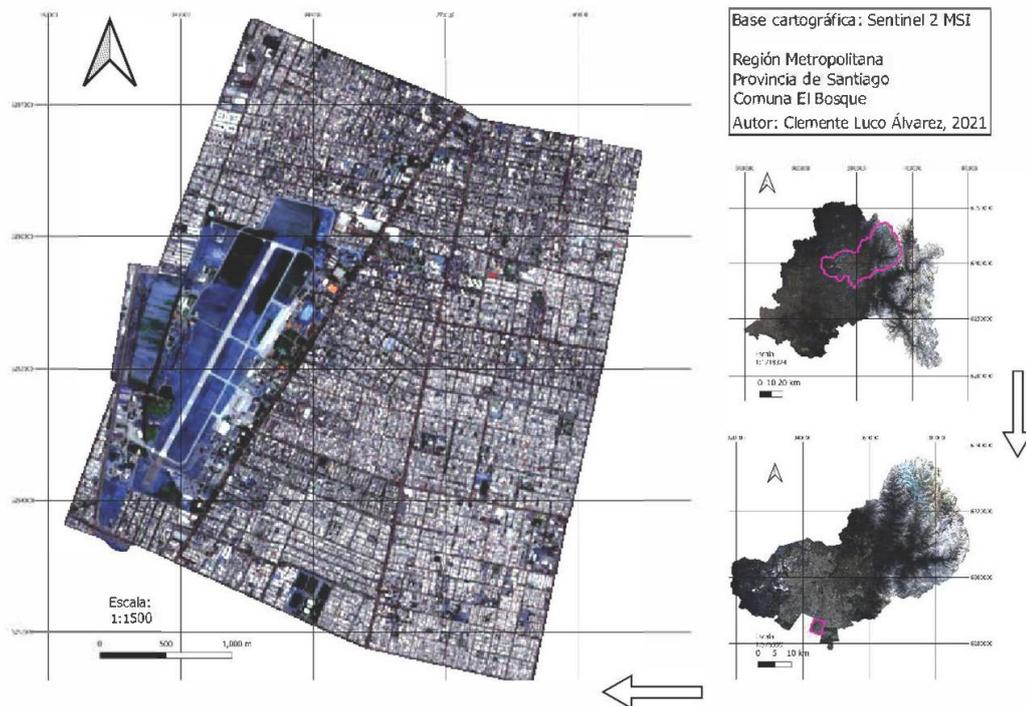


Figura 1: Área de estudio, comuna El Bosque.

Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes satelitales de Sentinel 2 MSI, 2022



Figura 2: Subdivisiones comunales según PLADECO y zonas censales 2002–2017.
 Fuente: Elaboración propia a partir de cartografías del Plan de Desarrollo Comunal 2017-2024 y de los censos 2002-2017, 2022

Materiales

Se utilizaron fuentes de información secundarias para la obtención de los datos e indicadores (ver Cuadro 1). Los materiales consisten en distintos softwares. Para procesar los datos del Censo se utilizó el software Redatam. La sistematización de la información meteorológica y las variables obtenidas a través de solicitud de transparencia se realizó a través del software Excel. La sistematización de los datos presentes en la Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile (IDE) y elaboración de cartografías se realizará a través de Qgis. Por último, la agregación de los indicadores en índices, así como su normalización y el cálculo de los índices se realizará a través del software Spyder (Python).

Cuadro 1: Variables utilizadas en el cálculo de los indicadores, con su respectiva fuente

Variables	Indicador	Fuente	Justificación
Días con altas temperaturas y olas de calor	Número de ocurrencias en que durante 3 días seguidos la temperatura máxima diaria supere los 25°C, 28°C y 30°C. Número de días al año en que se superen los 34°C. Se calculó a partir de temperaturas máximas diarias.	Datos de la estación meteorológica Quinta Normal, extraídos del explorador climático del CR2 y estación meteorológica La Platina, extraídos de Agromet.cl	Se prefirieron los datos de la estación Quinta Normal debido a la extensión de su base de datos (>70 años). Los datos de la estación La platina se usaron para completar los registros faltantes en la primera estación.
Hacinamiento	Porcentaje de viviendas hacinadas. Se considera hacinamiento cuando el número de personas por dormitorio es mayor a 2,5. Se calculó a partir del número de dormitorios de la vivienda y número de personas que residen en la vivienda.	INE, censo	
Adultos mayores que viven solos	Porcentaje de personas mayores de edad que viven solos en una vivienda. Se calculó a partir de la edad de las personas y número de personas que residen en la vivienda.	INE, censo	El censo posee un alto nivel de desagregación espacial y se encuentra disponible de manera pública. El formato Redatam permite calcular cruces y frecuencias hasta el nivel de vivienda.
Materialidad de la vivienda	Clasificación y recuento de las viviendas según su materialidad, en las categorías “aceptable”, “recuperable” e “irrecuperable” según del tipo y calidad de los materiales utilizados en la construcción del techo, las paredes y el piso de una vivienda. Luego se contabilizaron las viviendas clasificadas como “aceptables”.	INE, censo	

(continúa)

(continuación Cuadro 1)

Variables	Indicador	Fuente	Justificación
Población con reducida escolaridad	Porcentaje de personas que no cuenten con una escolaridad formal completa. Se calculó a partir los años de escolaridad formal completados (1-8).	INE, censo	
Población con empleos al aire libre	Porcentaje de personas que declaren la construcción como rama de la actividad económica en la cual se desempeñan.	INE, censo	
Población en edad sensible	Porcentaje de personas que tengan menos de 5 años o más de 65 años. Se calculó a partir de la edad de las personas.	INE, censo	
Población inmigrante	Porcentaje de personas que nacieron en el extranjero, pero que actualmente residen en la comuna. Se calculó a partir del país de nacimiento y año de llegada al país.	INE, censo	
Densidad poblacional de la zona censal	Porcentaje de personas que habitan una determinada superficie (personas/km ²). Se calculó a partir del total residentes y superficie de la zona censal.	INE, censo	
Población residente	Porcentaje de personas residentes en la zona censal. Se calculó a partir del total residentes de cada zona censal.	INE, censo	
Servicios de urgencia	Cobertura de los establecimientos de salud, cuarteles de carabineros y compañías de bomberos dentro de la comuna, en un radio de acceso a 5 minutos o menos en auto.	Ministerio de Bienes Nacionales, IDE	A partir del visor de mapas del IDE se pueden extraer información sobre la ubicación y año de entrada en funcionamiento de los establecimientos nombrados.

(continúa)

(continuación Cuadro 1)

Variables	Indicador	Fuente	Justificación
Calidad de la vegetación	Valores de índice espectral <i>Soil Adjusted Vegetation Index</i> (SAVI). Se calculó a partir de las bandas NIR (infrarrojo cercano) y RED (rojo).	Imágenes satelitales multiespectrales de alta resolución (30x30 metros). USGS Landsat 7 Level 2, Collection 2, Tier 1	Google Earth Engine permite recopilar y trabajar imágenes satelitales para el cálculo de índices de vegetación. Se seleccionó el satélite LandSat 7 debido principalmente a su resolución espacial y a la disponibilidad de imágenes para el período 2002-2017. Se optó por el índice SAVI, ya que, permite ajustar el resultado a lugares con poca cobertura vegetal, como ambientes urbanos, mediante un factor de corrección.
Capacidad de respuesta institucional	Presencia o ausencia de los siguientes documentos, órganos y proyectos en el municipio: Nómina de organizaciones comunitarias vigente, Perfil Climático Local, Consejo de la Sociedad Civil (COSOC), Comité Ambiental Comunal (CAC), Comité Ambiental Municipal (CAM), Plan comunal de emergencias, proyectos financiados por el Programa de prevención y mitigación de riesgos (PREMIR), nivel en el Sistema de Certificación Ambiental Municipal, Plan regulador comunal (PRC) vigente y Ordenanza municipal de participación ciudadana en la comuna.	Dirección de Desarrollo Comunitario y Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad El Bosque, Sistema de Certificación Ambiental Municipal, Sistema Nacional de Información Municipal	Debido a que se trata de información discreta y puntual, se revisó el año de elaboración de los documentos mencionados.

Métodos

Los conceptos de riesgo, exposición, vulnerabilidad, sensibilidad, capacidad de respuesta y peligro fueron trabajados según la definición del IPCC AR5.

En una primera instancia se seleccionaron los indicadores potenciales a evaluar, basándose en la literatura nacional e internacional relacionada con el calor extremo. Luego, se seleccionaron aquellos indicadores que fueran factibles de calcular según los criterios de selección expuestos en el presente ítem.

Para la caracterización del calor extremo se contabilizó la ocurrencia de olas de calor de distintas temperaturas umbrales, así como los días que superan los 34°C de temperatura máxima, dado que no existe una definición universal (Ilango et al. 2020).

El peligro se entendió como ocurrencia potencial de un evento físico que pueda causar impactos negativos en la salud, infraestructura crítica, recursos naturales u otros atributos del sistema (IPCC, 2014). Se compone de dos partes: una señal climática y un impacto físico (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit [GIZ], 2017).

La vulnerabilidad se entendió como la predisposición a verse afectado de manera adversa (IPCC, 2014). Ésta se compone a partir de la sensibilidad y la capacidad de respuesta¹. La sensibilidad quedó determinada por aquellos factores que son directamente afectados por las consecuencias del peligro. La capacidad de respuesta se entendió como la habilidad de ajustarse al daño potencial, sacar provecho de las oportunidades y responder a las consecuencias de manera adecuada (GIZ, 2017).

Por último, la exposición se entendió como la presencia de atributos de interés (personas, viviendas, especies, ecosistemas, servicios ambientales) en lugares que puedan verse afectados de manera adversa (IPCC, 2014).

Los indicadores seleccionados y expuestos en el Cuadro 1, cumplieron con los siguientes criterios de selección de información:

- Factibilidad técnica: Dada la situación sanitaria actual del país, el levantamiento de información primaria a través de encuestas, entrevistas u otras instancias participativas se hace sumamente costoso en términos de tiempo. Por otro lado, el uso de software estadístico permitió manejar bases de datos de manera rápida y eficaz, haciendo deseable, la utilización de información secundaria.
- Disponibilidad de información espacial: Fue necesario que la información a trabajar poseyera un identificador geográfico que permita espacializar los datos. Además, se priorizaron aquellas fuentes de información que pudieran ser desagregadas hasta el nivel de comuna o zona censal.
- Disponibilidad de información temporal: Se priorizaron aquellas fuentes de datos que tuvieran registros para los años 2002 y 2017; o en su defecto, el año

¹ No se debe confundir la capacidad de respuesta con la resiliencia, debido a que ésta última abarca una mayor complejidad y requiere de más indicadores para ser evaluada. Sin embargo, la capacidad de respuesta presentada en este informe sirve de variable proxy para la resiliencia y ayuda a entender de manera más integral el riesgo climático.

más cercano. Además, respecto a las variables meteorológicas, se seleccionaron aquellas bases de datos que tuvieran la mayor cantidad de registros (mínimo 30 años), en concordancia con las “Directrices de la Organización Meteorológica Mundial” sobre el cálculo de las normales climáticas (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2017).

- Disponibilidad de información pública: Se seleccionaron fuentes de información pública, de manera que el estudio sea replicable en otras comunas.

Cadena de impactos

El riesgo y sus componentes fueron calculados para cada unidad territorial siguiendo la estructura y orden descrito en la cadena de impacto. Esta metodología fue propuesta por el GIZ en su publicación “Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook” (2017) y consiste en una representación esquemática en forma de diagrama de flujo, que muestra las interacciones entre los componentes y subcomponentes antes de culminar en el riesgo final. La cadena de impactos utilizada se presenta en la Figura 3. Cabe destacar que la figura a continuación se basa en la cadena presentada en el Atlas de Riesgos Climáticos para Chile (Urquiza et al., 2020), ya que, dicho trabajo también pretendía evaluar el riesgo del calor extremo en la salud de las personas.

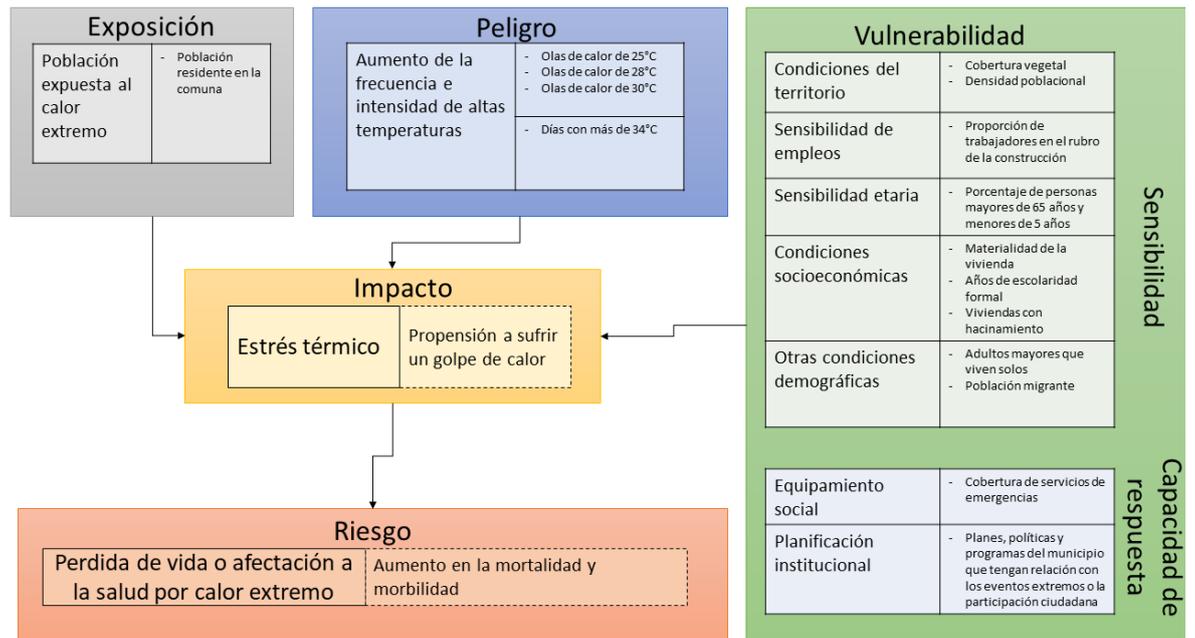


Figura 3: Cadena de impactos.

Fuente: Elaboración propia basada en el Atlas de Riesgos Climáticos para Chile, 2020

Evaluación multicriterio con lógica difusa y construcción de índices

Se calculó el valor de cada componente y subcomponente del riesgo climático utilizando la técnica de lógica difusa.

El primer paso dentro de esta evaluación consistió en la asignación de las funciones de membresía (Samanta, 2018). El conjunto de las funciones de membresía asignadas a cada indicador se denomina conjunto difuso (fuzzy set) (Klir et al., 1995). Estas funciones permitieron convertir los valores nítidos o “crisp values”², en valores relativos o fusificados entre 0 y 1, y representan la relación entre el indicador (variable independiente) y el componente del riesgo a calcular (variable dependiente). A todos los indicadores no booleanos se les asignaron 2 ó 3 funciones de membresía tipo triangular (ver Figura 4). Estas representan la relación entre el indicador y su valor normalizado, donde los puntos más altos de las funciones representan los valores mínimos, medios y máximos de la distribución empírica del indicador, para ambos años de estudio. El número de funciones de membresía se definió según la cantidad de indicadores a evaluar en cada componente del riesgo, de manera que las reglas lógicas mantengan cierto grado de simpleza para su elaboración e interpretación.

Las reglas lógicas consisten en una serie de instrucciones que siguen la lógica clásica IF-THEN y utiliza los operadores AND-OR. Declaran que, de cumplirse ciertas condiciones, cada caso tendrá un valor que se pueda categorizar en alto, medio o bajo (Hellmann, 2001). Al declararse las reglas lógicas en lenguaje Python, se utilizaron los operadores fmin y fmax (numpy) como equivalentes a los operadores AND y OR respectivamente. El AND requiere que todos los atributos se cumplan para que se considere viable una alternativa, por lo tanto, se considera el valor del atributo más bajo; de manera opuesta, al requerir que al menos un atributo se cumpla, al usar OR, se considera el valor del atributo más alto (López, 2018). De esta forma, se definió a partir de qué punto, se puede considerar como alto, medio o bajo el valor de los indicadores fusificados. A modo de ejemplo, en el Apéndice 2, se pueden ver partes del código usado en la elaboración de un índice. Se creó un conjunto de reglas lógicas para cada componente y subcomponente del riesgo.

El último paso de esta metodología consistió en transformar el dato relativo o fusificado, a un valor discreto para cada zona censal. Para esto fue necesaria una última operación de desfusificación³, que se ejecutó por medio del método del centroide⁴. Esta consiste en calcularle el centroide al polígono del conjunto difuso resultante de la agregación de los indicadores. El dato desfusificado corresponde a la coordenada “x” de dicho centroide (ver Apéndice 3).

² Valores reales que provienen de la medición directa de la variable; Ej: Número de olas de calor.

³ Operación matemática que permite convertir los valores relativos provenientes de la aplicación de las funciones de membresía, en valores reales o discretos más representativos de la realidad (Chakraverty, 2019).

⁴ Método más común para desfusificar. Determina el centro de área del conjunto difuso (área que se forma al agregar las funciones de membresía) y retorna el valor real. Este corresponde a la coordenada del eje X del centroide de dicha área (Runkler, 1997).

El principal motivo por el cual se optó por utilizar esta técnica basada en reglas lógicas fue que, la lógica difusa tiene su principal fundamento en que existe información limitada respecto de los umbrales que determinarán el riesgo en cada variable (Araya-Munoz et al., 2017). En este contexto, la implementación de otras técnicas de evaluación multicriterio como, la matriz de comparación entre pares (Martínez et al., 2017) o los promedios ponderados por pesos relativos (Pacheco et al., 2008), implicaban mayores dificultades debido a la falta de información sobre los umbrales a partir de los cuales la situación podría categorizarse como “mala – media – buena”. Por otro lado, el contexto de pandemia en el cual fue desarrollado este trabajo hace sumamente complejo implementar actividades participativas que permitan ponderar los indicadores según los conocimientos locales. Sin embargo, gran parte de los indicadores seleccionados, así como sus respectivas reglas lógicas de agregación, han sido previamente utilizadas en el Atlas de Riesgos Climáticos (Urquiza et al., 2020), el cual fue validado a través de expertos de la academia y la sociedad civil. Algunos indicadores recopilados del Atlas no fueron calculados exactamente de la misma manera, principalmente por la disponibilidad de información para los años y la escala espacial requerida. En el Apéndice 1 se presenta un cuadro con todos los indicadores y su relación con el Atlas de Riesgos Climáticos (Urquiza et al., 2020).

Es importante mencionar, que, en muchos casos, es sumamente complejo idear reglas lógicas que modelen perfectamente el comportamiento de las variables en las funciones de membresía. Principalmente porque las categorías presentadas en las reglas lógicas a partir de lógica clásica son discretas y no permiten que una misma zona censal se clasifique dentro de más de una categoría (bajo, medio, alto), como ocurre al traducir dichas reglas a lógica difusa en Python. Sin embargo, estas reglas sirven de indicaciones para entender de manera sencilla, la jerarquía de los indicadores presentes en cada componente y subcomponente.

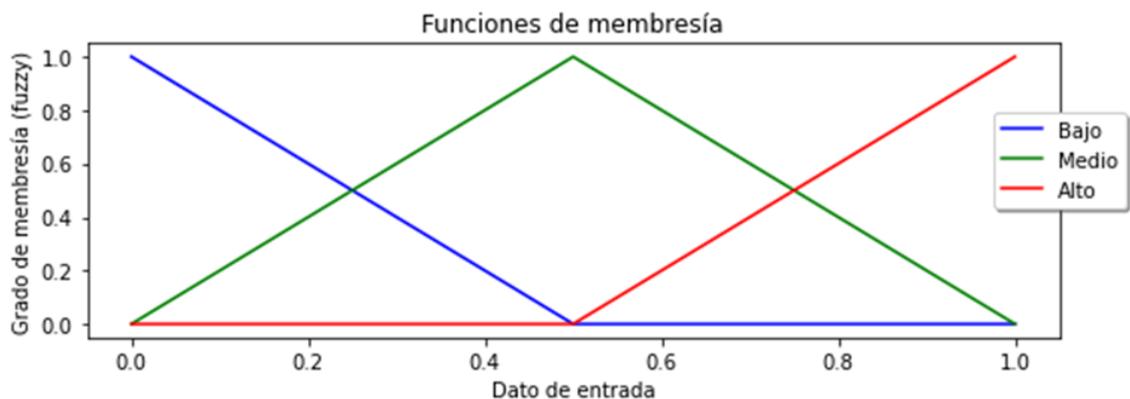


Figura 4: Funciones de membresía
Fuente: Elaboración propia, 2022

Método para el cálculo de los índices

Peligro

Utilizando datos de estaciones meteorológicas se calculó un índice de peligro para los años 2002 y 2017. Los indicadores que compusieron el índice fueron: Número de olas de calor de 25°C al año, número de olas de calor de 28°C al año, número de olas de calor de 30°C al año y número de días al año en que se superan los 34°C. Todos los indicadores fueron calculados a partir de una serie de temperaturas máximas diarias para el período 1951 – 2019, extraídos de la estación meteorológica Quinta Normal, y completados con los datos de la estación meteorológica La Platina.

En una primera instancia, se calcularon los indicadores para ambos años utilizando el software Excel. Se entiende por ola de calor cuando durante 3 días seguidos se supera una temperatura umbral específica (Urquiza et al., 2020). En este caso, dichas temperaturas fueron 25, 28 y 30°C. En el Cuadro 2 se presentan los indicadores, su descripción y la fuente de los datos.

Cuadro 2: Indicadores utilizados en el cálculo del índice de Peligro

Indicadores	Descripción	Fuente
Olas de calor de 25°C, 28°C y 30°C	Se contabilizó el número de ocurrencias en que durante 3 días seguidos se superen los 25°C, 28°C y 30°C de temperatura máxima diaria. Su relevancia recae en la peligrosidad que pueden tener estos eventos sobre la salud de la población. Al tener tres rangos, esta metodología puede ajustarse a las distintas condiciones climáticas presentes en el país, de manera que sea replicable en otras comunas (Urquiza et al., 2020).	Explorador climático del CR2
Días con más de 34°C	Se contabilizó el número de ocurrencias al año en que la temperatura máxima diaria supere los 34°C. Este indicador permite incorporar la ocurrencia de días extremadamente cálidos, sin que necesariamente sean prolongados en el tiempo, pero que, sí pueden poner en peligro a la población dada su alta intensidad (Urquiza et al., 2020).	Explorador climático del CR2

Una vez definidos los indicadores, se procedió a ejecutar la evaluación mediante lógica difusa. Para el caso del peligro, se asignaron 3 funciones de membresía a cada indicador: Alto, medio, y bajo. Los umbrales de estas funciones fueron definidos por el valor medio, máximo y mínimo de toda la serie. Luego se definieron las reglas lógicas para la agregación de los indicadores (ver Cuadro 3), extraídas del Atlas de Riesgos Climáticos (Urquiza et al., 2020).

Cuadro 3: Reglas lógicas del índice de Peligro

Nivel de peligro	Reglas lógicas
Alto	<p>Registra una frecuencia alta de olas de calor de 28°C o de olas de calor de 30°C; Y una frecuencia alta o media de olas de calor de 25°C.</p> <p>Registra una frecuencia media de olas de calor de 28°C y de olas de calor de 30°C; y una frecuencia alta de olas de calor de 25°C, o bien, una frecuencia media de olas de calor de 25°C y alto número de días al año con más de 34°C.</p>
Medio	<p>Registra una frecuencia baja de olas de calor de 25°C y una frecuencia alta de olas de calor de 30°C o de olas de calor de 28°C.</p> <p>Registra una frecuencia media de olas de calor de 25°C y una frecuencia baja de días al año con más de 34°C y una frecuencia media de olas de calor de 30°C o de olas de calor de 28°C.</p> <p>Registra una frecuencia media de olas de calor de 30°C o de olas de calor de 28°C y una frecuencia alta de olas de calor de 25°C, o bien, una frecuencia media de olas de calor de 25°C y una frecuencia baja de días al año con más de 34°C.</p>
Bajo	<p>Registra una frecuencia baja de olas de calor de 30°C y de olas de calor de 28°C.</p> <p>Registra una frecuencia media en de olas de calor de 28°C o de olas de calor de 30°C; y registra una frecuencia baja de olas de calor de 25°C o bien, una frecuencia mediana de olas de calor de 25°C y bajo número de días al año con más de 34°C</p>

Fuente: Elaboración propia en base al Atlas de Riesgos Climáticos (Urquiza et al., 2020), 2022

Por último, se procedió a defusificar con el método del centroide. Una vez defusificado el resultado, se obtuvo el valor del peligro final para los años 2002 y 2017. Cabe destacar que, a diferencia de las otras componentes del riesgo (vulnerabilidad y exposición), el peligro tuvo un valor único para todas las zonas censales de la comuna.

Vulnerabilidad

Como se mencionó anteriormente, este índice se compuso a partir dos índices: sensibilidad y capacidad de respuesta. Para la agregación de éstos en el índice de vulnerabilidad, se utilizaron las siguientes reglas lógicas (ver Cuadro 4), extraídas del Atlas de Riesgos Climáticos (Urquiza et al., 2020).

Cuadro 4: Reglas lógicas del índice Vulnerabilidad

Nivel de Vulnerabilidad	Reglas lógicas
Alta	Presenta altos índices de sensibilidad y bajos índices de capacidad de respuesta.
Media	Presenta altos índices de sensibilidad y altos índices de capacidad de respuesta.
Baja	Presenta bajos índices de sensibilidad, independiente de su valor en el índice de capacidad de respuesta.

Fuente: Elaboración propia en base al Atlas de Riesgos Climáticos (Urquiza et al., 2020), 2022

Sensibilidad

Se calculó un índice de sensibilidad, en cada zona censal de la comuna, para los años 2002 y 2017. La sensibilidad corresponde a un componente del riesgo, y, en conjunto con la capacidad de respuesta, constituyen el índice de vulnerabilidad. Las bases de datos de las encuestas fueron proporcionadas por el INE como respuesta a una solicitud de transparencia⁵. Una vez obtenidos los datos de la encuesta sin procesar, se sistematizaron utilizando el software Redatam⁶ y posteriormente se calcularon los indicadores usando el software Excel. A continuación, se presenta el Cuadro 5, con los indicadores, una breve descripción y el origen de los datos.

Cuadro 5: Indicadores utilizados en el cálculo del índice de Sensibilidad

Indicadores	Descripción	Fuente de los datos
Densidad poblacional	Se calculó la densidad poblacional (personas/km ²) en cada zona censal. Aquellas zonas con mayor densidad serán más sensibles debido a que, ante una emergencia, es probable que, los sistemas de que proveen servicios básicos en una zona densamente poblada colapsen antes. Además, la densidad poblacional puede ser utilizada como una variable proxy para representar el grado de densidad de construcciones urbanas (Lissner, 2011), lo cual puede influenciar el comportamiento de una ola de calor a escala local. Siendo aquellas áreas más densamente construidas, aquellas que se verán afectadas con mayor severidad (Lemonsu, 2015).	Censo 2002 – 2017, INE

(continúa)

⁵ Solicitudes de información realizadas de manera particular a los distintos órganos o servicios administrados por el estado de Chile, en el marco de la Ley 20285 Sobre Acceso a la Información Pública.

⁶ Sistema para el procesamiento y análisis de información de censos, encuestas, registros administrativos, indicadores nacionales/regionales y otras fuentes de datos (Mancilla Flores, 2008).

(continuación Cuadro 5)

Indicadores	Descripción	Fuente de los datos
Personas menores de 5 años	Se calculó la proporción de menores de 5 años, respecto del total de personas residentes en cada zona censal. La importancia del indicador recae en que, las personas durante su infancia temprana tienen menor capacidad de termorregulación y son más propensos a deshidratarse que los adultos, por lo que su sensibilidad ante los eventos de calor extremo es mayor (Balbus, 2009).	Censo 2002 - 2017, INE
Personas mayores de 65 años	Se calculó la proporción de mayores de 65 años, respecto del total de personas residentes en cada zona censal. El envejecimiento produce cambios en el sistema termoregulatorio, haciendo a los adultos mayores más susceptibles a verse severamente afectados ante un golpe de calor (Kovats, 2007). Además, en eventos históricos de olas de calor, como los ocurridos en Roma en 1883, los mayores de 65 años tuvieron un 35% más de muertes en comparación con el año anterior (Kovats, 2006).	Censo 2002 - 2017, INE
Trabajadores al aire libre	Se calculó la proporción de personas que trabajan en construcción, respecto del total de personas residentes en la zona censal. Aquellas zonas censales con mayor número de trabajadores al aire libre tuvieron una mayor sensibilidad laboral, debido a que, su exposición directa a la radiación solar los hace más susceptibles a sufrir un golpe de calor (ISTAS, 2019).	Censo 2002 - 2017, INE
Personas con reducida escolaridad	Se calculó la proporción de personas que tienen menos de 8 años de enseñanza formal, respecto del total de personas residentes en la zona censal. Aquellas personas con reducida escolaridad no cuentan con las mismas herramientas ni medios para acceder a redes información y recursos que pueden ser útiles para enfrentar y adaptarse a situaciones adversas como lo pueden ser los eventos de calor extremo (Striessnig et al., 2013).	Censo 2002 - 2017, INE
Población migrante	Se calculó la proporción de personas que nacieron en otro país y que actualmente residen en la comuna, respecto del total de personas residentes en la zona censal. A la fecha existen múltiples análisis sobre el fenómeno migratorio hacia Chile, sin embargo, para efectos de este trabajo nos enfocamos principalmente en las materias de salud, debido a su relación con el riesgo climático evaluado. Respecto a la salud, existen brechas entre los inmigrantes y la población local en cuanto a la probabilidad de estar afiliado a algún sistema (FONASA o ISAPRE) y al uso de servicios de salud a través de consultas médicas (Benítez et al., 2019). Por lo que, ante un evento de calor extremo, la población inmigrante es más susceptible a no recibir la atención médica adecuada.	Censo 2002 - 2017, INE

(continúa)

(continuación Cuadro 5)

Indicadores	Descripción	Fuente de los datos
Adultos mayores solos	Se calculó la proporción de personas mayores de 65 años que vivieran en hogares unipersonales, respecto del total de personas residentes de la zona censal. Este indicador que viene a ser una extensión del indicador de “Personas mayores de 65 años” y su relevancia recae en que: aquellas personas mayores de 65 años que además viven solas poseen mayor riesgo de verse afectados por un evento de calor extremo, ya que, probablemente no contarán con ayuda o asistencia inmediata de otra persona (Kim, 2017).	Censo 2002 - 2017, INE
Viviendas con hacinamiento	Se calculó la proporción de viviendas con situación de hacinamiento (más de 2,5 personas por habitación), respecto del total de viviendas de cada zona censal. La relevancia del hacinamiento está en su relación con la capacidad de pago de los integrantes de la vivienda (Winchester, 2008). Además, trae consigo el aumento de la probabilidad de contagio de diversas enfermedades respiratorias (Blanco, 2012), las cuales pueden perjudicar a una persona ante los eventos de calor extremo. Por último, existe relación entre el hacinamiento y el rendimiento académico (Contreras, 2019), lo cual puede llevar a una menor capacidad de adaptación ante situaciones adversas.	Censo 2002 - 2017, INE
Viviendas con materialidad aceptable	Se calculó la proporción de viviendas con materialidad aceptable, respecto del total de viviendas de cada zona censal. Los materiales de la vivienda influirán en la temperatura dentro de ésta, siendo aquellos de menor calidad, los que tengan menor capacidad de conservar una temperatura agradable, haciendo más sensibles a las temperaturas extremas a los moradores (Samuelson, 2020).	Censo 2002 - 2017, INE
Promedio SAVI	Se calculó el promedio del índice SAVI en cada zona censal. A mayor valor del índice, interpretó una mayor cobertura vegetal en la zona censal. La importancia del indicador recae en la capacidad que tiene la vegetación de reducir las temperaturas dentro de las áreas urbanas (Susca 2011). Cabe destacar que este índice ha tenido resultados positivos para la estimación de superficie vegetal en ambientes urbanos (Bannari, 2007).	LandSat 7, USGS

Una vez definidos los indicadores y calculados sus valores, se procedió la asignación de las funciones de membresía. A diferencia de la componente peligro, en este caso se asignaron dos funciones de membresía para cada indicador: alto y bajo. Esto debido principalmente a la gran cantidad de indicadores utilizados para calcular la sensibilidad, lo que dificultó la definición de reglas lógicas para cada caso. Los umbrales de las funciones de membresía fueron definidos por los valores máximos y mínimos de cada indicador, considerando los valores ambos años de evaluación. De manera que los resultados para cada año sean comparables entre sí. Con las funciones de membresía ya definidas, se procedió a declarar las siguientes reglas lógicas (ver Cuadro 6), extraídas del Atlas de Riesgos Climáticos (Urquiza et al., 2020).

Cuadro 6: Reglas lógicas del índice Sensibilidad

Nivel de Sensibilidad	Reglas lógicas
Alto	Presenta bajo valor en el índice SAVI y alta densidad poblacional y, adicionalmente, cumple con al menos una de las condiciones de sensibilidad poblacional (socioeconómica, etaria o demográfica). Cuenta con una gran proporción de empleos sensibles y, a la vez, cumple con todas las condiciones de sensibilidad poblacional.
Medio	Presenta bajo valor en el índice SAVI y alta densidad poblacional, pero no cumple con ninguna condición de sensibilidad poblacional. Cuenta con una gran proporción de empleos sensibles, pero no cumple con una de las condiciones de sensibilidad poblacional.
Bajo	Presenta alto valor en el índice SAVI y poca densidad poblacional. No cuenta con una gran proporción de empleos sensibles. No cumple con ninguna de las condiciones de sensibilidad poblacional.

Fuente: Elaboración propia en base al Atlas de Riesgos Climáticos (Urquiza et al., 2020), 2022

Por último, se defusificó el valor resultante de la aplicación de las reglas lógicas utilizando el método del centroide y se obtuvo el valor de Sensibilidad para cada zona censal.

Capacidad de respuesta

Para el cálculo del índice de capacidad de respuesta se distinguió entre indicadores de escala de zona censal y comunal, que componen los índices de “equipamiento social” y “planificación institucional” respectivamente. En el

Cuadro 7 se presentan los indicadores utilizados en el cálculo de la capacidad de respuesta, una breve descripción, la escala y la fuente de los datos.

Cuadro 7: Indicadores para el cálculo del índice Capacidad de Respuesta

Indicadores	Descripción	Fuente
Accesibilidad a establecimientos de salud, bomberos y carabineros	Se calculó el porcentaje de la zona censal que se encuentra a menos de 5 minutos en vehículo, de uno o más de los centros de salud, estaciones de bomberos o cuarteles de carabineros. Se asume que, al existir una mayor cercanía a los centros de salud, residentes de esta área no tendrán que trasladarse grandes distancias a los y tendrán una atención más rápida ante una emergencia. Por otro lado, la presencia de cuarteles de carabineros implica que dicha zona posee una mayor seguridad social en ese sector, aumentando su capacidad de respuesta. Por último, al existir compañías de bomberos dentro o en las cercanías de una zona censal, se asume que ésta posee un mayor grado de protección ante incendios, ya que, deberán contar con una asistencia más rápida del cuerpo de bomberos ante una eventual catástrofe.	IDE, Ministerio de Bienes Nacionales

(continúa)

(continuación Cuadro 7)

Indicadores	Descripción	Fuente
Municipio cuenta plan regulador comunal (PRC) vigente	Se verificó la existencia de un plan regulador comunal vigente. Este indicador fue seleccionado debido a la importancia que tienen los PRC como instrumentos de planificación territorial (urbana) en Chile. Este instrumento vinculante debe incluir distintas disposiciones sobre cómo utilizar el espacio físico (Ministerio de la Vivienda y Urbanismo, 1975). Dado su carácter vinculante, tiene un gran potencial como herramienta para fortalecer la resiliencia urbana (Urquiza et al., 2018) desde una escala local.	SINIM, Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo
Municipio cuenta con Sistema de Certificación Ambiental Municipal (SCAM)	Se verificó la presencia del municipio en el Sistema de Certificación Ambiental Municipal (SCAM). Se trata de un programa voluntario que busca orientar a los municipios a desarrollar un modelo de gestión ambiental a través de distintas líneas de trabajo (Ministerio de Medio Ambiente [MMA], 2021). Al estar inscrito en el sistema, el municipio demuestra conciencia y reconocimiento institucional frente a los desafíos del cambio climático.	SCAM, MMA
Municipio cuenta con Estrategia de Comunicación de Cambio Climático (ECCC)	Se verificó la existencia de una Estrategia de Comunicación de Cambio Climático (ECCC) en el municipio. La ECCC es una herramienta de planificación que tiene por objetivo conectar el trabajo distintas direcciones del municipio en materia de cambio climático. De esta manera, busca contribuir a la mitigación de los efectos del cambio climático de manera transversal en las labores municipales y las actividades comunitarias (Red Chilena de Municipios Ante el Cambio Climático, 2017).	Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad El Bosque
Ejecución de proyectos financiados por el Programa de prevención y mitigación de riesgos (PREMIR)	Se verificó la ejecución de proyectos financiados por el Programa de prevención y mitigación de riesgos (PREMIR) en el municipio. El objetivo principal de este programa es fomentar la protección civil mediante la entrega de herramientas que ayuden a los municipios a reducir el riesgo y fortalecer la capacidad de respuesta ante una eventual emergencia o catástrofe. Los principales ejes en los cuales el programa aporta con financiamiento son: la formación y capacitación de los profesionales del municipio para responder de manera efectiva ante un evento; el diagnóstico y estudio de los riesgos presentes en la comuna (Laboratorio de Análisis Territorial, 2018).	SINIM, Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo

(continúa)

(continuación Cuadro 7)

Indicadores	Descripción	Fuente
Municipio cuenta con Perfil Climático Municipal (PCM) actualizado	Se verificó la existencia de un Perfil Climático Municipal en el municipio. Los perfiles climáticos son una herramienta de diagnóstico, que permite entender la situación actual de la comuna en un contexto de cambio climático. En el perfil se identifican los eventos climáticos extremos y sus impactos observados dentro de la comuna, además de los planes, programas y proyectos relacionados con el cambio climático en la gestión municipal (Adapt-Chile y EUROCLIMA, 2015). Indica el estado de conciencia que posee el municipio sobre la situación particular de su comuna frente al cambio climático.	Adapt-Chile, Red Chilena de Municipios ante el Cambio
Planificación de seguridad pública en situaciones de emergencias	Se verificó la existencia de un plan comunal de emergencias en el municipio. El objetivo de estos planes es servir como guía para orientar acciones hacia la prevención y atención de las diversas emergencias que se puedan presentar en una comuna. Pretenden preparar al municipio para enfrentar de mejor manera los distintos riesgos naturales o antrópicos que se puedan presentar. A raíz de esto, surge el supuesto de que aquellos municipios con este tipo de herramientas estarán mejor preparados para enfrentar desastres naturales como las temperaturas extremas (Mann, 2014).	Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad El Bosque
Municipio cuenta con ordenanza de participación ciudadana	Se verificó la existencia de una ordenanza municipal de participación ciudadana en el municipio. Las ordenanzas de participación ciudadana tienen por objetivo definir espacios institucionales que permitan incorporar a los habitantes de la comuna en la gestión y desarrollo de la comuna, además de facilitar la expresión de demandas e intereses. Esto les permite a sus habitantes incidir directamente en las decisiones que afecten a la comuna, como, por ejemplo, modificaciones al Plan Regulador o la formulación del Plan de Desarrollo Comunal (Municipalidad El Bosque, 2011). De esta manera, se incorporan conocimientos locales que son fundamentales para una gestión legítima e integral en beneficio de toda la comunidad (Larsen, 2009).	Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad El Bosque
Municipio cuenta con consejo de sociedad civil (COSOC) constituido	Se verificó la existencia de un consejo de sociedad civil constituido en la comuna. Dicha organización desempeña un rol de acercamiento entre las autoridades municipales y la sociedad civil. Estas últimas constituyen actores clave en el proceso de adaptación al cambio climático (Berkhout, 2012), por lo que, los canales de comunicación entre estas organizaciones y la institucionalidad local, como los COSOC, influyen en la capacidad de respuesta que tenga el territorio.	Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad El Bosque

(continúa)

(continuación Cuadro 7)

Indicadores	Descripción	Fuente
Municipio cuenta con comité ambiental municipal (CAM) constituido	Se verificó la existencia de un comité ambiental municipal en el municipio. Este comité está constituido por las máximas autoridades comunales y quien lo preside es el alcalde. Su labor es dirigir el proceso de certificación SCAM y apoyar técnicamente al pronunciamiento del alcalde o alcaldesa sobre las Declaraciones de Impacto Ambiental y/o Estudios de Impacto Ambiental de proyectos pertinentes a la comuna, además de elaborar y desarrollar programas de sostenibilidad en el municipio (MMA, 2017). Este comité tiene el potencial de influir de manera transversal en las direcciones del municipio y por ende se le considera relevante para calcular un índice de planificación territorial.	Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad El Bosque
Municipio cuenta con comité ambiental comunal (CAC) constituido	Se verificó la existencia de un comité ambiental comunal en la comuna. Este organismo está constituido por representantes de la comunidad local, que idealmente, sean personas representativas del contexto comunal, considerando factores como la cantidad de población indígena y sector económico-productivo preponderante. Entre sus atribuciones está apoyar las líneas estratégicas y el proceso de implementación del sistema de certificación ambiental en el municipio. Además, el CAC deberá ser considerado como actor relevante en el desarrollo de actividades, programas y políticas ambientales en la comuna (MMA, 2017). Por ende, constituye un mecanismo que vincula a la ciudadanía con su gobierno local, fortaleciendo la participación ciudadana y la incorporación de los saberes locales en la gestión municipal, fortaleciendo su capacidad de respuesta y adaptación (Audefroy, 2017).	Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad El Bosque

Para el cálculo del índice de equipamiento social, se asignaron tres funciones de membresía a cada indicador (cobertura de establecimientos de salud, bomberos y carabineros), siendo los umbrales, el mínimo, máximo y promedio de la serie de datos compuesta por los valores de ambos años para cada indicador. Mientras que los indicadores de escala comunal fueron agrupados en un mismo grupo denominado planificación institucional. En este último grupo todos los indicadores son booleanos, por lo que, se contabilizó la existencia o ausencia de los instrumentos que definen a cada indicador para cada año de evaluación. Luego, se normalizó, utilizando el método min-max⁷ (ver Ecuación 1), para obtener el valor de “planificación institucional” de cada año.

$$X_{i, 0 a 1} = \frac{X_i - X_{min}}{X_{min} - X_{max}}$$

Ecuación 1

⁷ Técnica simple de normalización, que permite transformar los valores mínimos y máximos de la serie en 0 y 1 respectivamente, mientras que todos los valores intermedios de la serie se transformarán en valores dentro del rango [0,1] (Farrús, 2005).

Donde,

- $X_{i, 0 \text{ a } 1}$: Dato normalizado entre 0 y 1.
 X_i : Dato o valor a normalizar.
 X_{\min} : Valor mínimo de la serie de datos.
 X_{\max} : Valor máximo de la serie de datos.

En el Cuadro 8 se pueden ver las reglas lógicas declaradas para el cálculo del índice de equipamiento social.

Cuadro 8: Reglas lógicas del índice de Equipamiento Social

Nivel de Equipamiento Social	Reglas lógicas
Alto	Se encuentra cubierta por los servicios de salud, bomberos y policía.
Medio	Se encuentra cubierta únicamente por los servicios de salud.
Bajo	Se encuentra cubierta por los servicios de bomberos y carabineros. No se encuentra cubierta por ninguno de los servicios de salud, bomberos y policía.

Fuente: Elaboración propia, 2022

Luego, a cada zona censal se le aplicó la siguiente operación (ver Ecuación 2) para obtener el valor final de capacidad de respuesta. Los valores de las ponderaciones fueron establecidos en base a acuerdos con un académico, experto en el área de la planificación territorial⁸.

$$Cr = \frac{Pi \times W_{pi} + Es \times W_{es}}{W_{pi} + W_{es}}$$

Ecuación 2

Donde,

Cr: Índice de capacidad de respuesta. Contempla indicadores centrados en la presencia de servicios de salud, bomberos y carabineros (equipamiento social) y de instrumentos de planificación institucional.

Pi: Índice de planificación institucional. Evalúa la posesión de instrumentos de gestión y planificación municipal, relacionados con la participación ciudadana, el diagnóstico climático y la planificación territorial.

Es: Índice de equipamiento social. Evalúa la cercanía a los distintos servicios de salud, bomberos y carabineros presentes en la comuna.

W_{pi} : Peso o ponderación del índice de planificación institucional. Valor: 1.

W_{es} : Peso o ponderación del índice de equipamiento social. Valor: 2.

⁸ Gerardo Ubilla Bravo: Doctor en geografía y ordenamiento del espacio de l'Université Paul-Valéry Montpellier, Geógrafo y licenciado en geografía de la Universidad de Chile, Magister en Proyectos urbano-regionales de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Master recherche mention Développement durable et aménagement de l'Université Paul-Valéry Montpellier.

Exposición

Para el cálculo del índice de exposición, se consideró solo un indicador, correspondiente a la cantidad de personas residentes en cada zona censal. El principal supuesto es que, aquellas zonas censales con mayor población están más expuestas a los impactos provenientes del calor extremo (Urquiza et al., 2020). Los datos de la población residente en cada zona censal fueron extraídos de los resultados de las encuestas censales llevadas a cabo en 2002 y en 2017.

Para la exposición se asignaron tres funciones de membresía, y, dado que solo se utilizó un indicador, existe un único conjunto difuso en este índice. Las funciones de membresía asignadas fueron: alto, medio y bajo, y sus umbrales corresponden a los valores máximo, promedio y mínimo de toda la serie de datos correspondiente a la población residente en cada zona censal. En el Cuadro 9 se presentan las reglas lógicas utilizadas.

Cuadro 9: Reglas lógicas del índice de Exposición

Nivel de Exposición	Reglas lógicas
Alto	En la zona censal exista un alto número de personas. En otras palabras, la zona censal posee un mayor grado de membresía en la función alta, que en media y baja
Medio	En la zona censal exista un número medio de personas. En otras palabras, la zona censal posee un mayor grado de membresía en la función media, que en alta y baja.
Bajo	La zona censal posee un número bajo de personas. En otras palabras, la zona censal posee un mayor grado de membresía en la función baja, que en media y alta.

Fuente: Elaboración propia, 2022

Por último, se defusificó el valor resultante de la agregación mediante reglas lógicas utilizando el método del centroide, obteniéndose así, el valor de exposición para cada zona censal.

Riesgo

Una vez calculados los valores de los índices que componen el riesgo, se procedió a calcular el índice de riesgo de pérdida de vida o afectación a la salud por eventos de calor extremo. Para el cálculo del índice, se utilizó un método distinto a las reglas lógicas, principalmente debido a que, el peligro, a diferencia de los demás índices que componen el riesgo, posee una escala comunal y no por zona censal. Por lo que, de calcularse a través de reglas lógicas, usando los operadores fmin y fmax, propiciaría que el valor constante del peligro para cada año se viera sobrerrepresentado en las distintas zonas censales. Para contrarrestar esta condición, se optó por calcular el índice de riesgo final a través de la siguiente ecuación de media ponderada (ver Ecuación 3):

$$Riesgo = \frac{Peligro \times W_{pe} + Vulnerabilidad \times W_{vu} + Exposición \times W_{ex}}{W_{pe} + W_{vu} + W_{ex}}$$

Ecuación 3

Donde,

Riesgo: Índice de Riesgo.

Peligro: Índice de Peligro.

Vulnerabilidad: Índice de Vulnerabilidad.

Exposición: Índice de Exposición.

W_{pe} : Peso o ponderación del índice de Peligro. Valor: 14,3.

W_{vu} : Peso o ponderación del índice de Vulnerabilidad. Valor: 82,1.

W_{ex} : Peso o ponderación del índice de Exposición. Valor: 3,6.

De esta manera, el peligro se distribuye de manera constante por sobre las distintas zonas censales, sin opacar a las demás componentes, funcionando más bien como un ponderador o una condición que se aplica por igual, a todas las zonas censales de la comuna. Los valores de las ponderaciones fueron determinados según la cantidad de indicadores presentes dentro de cada componente, dándole mayor relevancia a aquellas componentes que fueran más completas o robustas.

RESULTADOS

Indicadores de Peligro

A continuación, se presenta la descripción de los resultados obtenidos a partir de los indicadores de Peligro, acompañados de gráficos que muestran el comportamiento de los indicadores a lo largo del período utilizado para la construcción de los indicadores. En la Figura 5, se observa un aumento sostenido en todos los indicadores a lo largo de los años.

En el Cuadro 10 se presentan los resultados para cada indicador por año. Se puede ver que en el período 2002 – 2017, todos los indicadores aumentaron al menos en 8 eventos. El indicador que más aumentó fue el de días con más de 34°C, que pasó de cero eventos en 2002 a quince eventos en 2017. Por otro lado, el indicador que menor aumentó fue el de olas de calor de 25°C, pasando de cuarenta eventos en 2002 a cuarentaiocho en 2017. Se evidencia una relación directa en el aumento de la severidad del indicador, y la diferencia en el número de eventos en cada año.

En el Cuadro 11 se presentan tres estadísticas que ayudan a entender el comportamiento de las variables estudiadas. Como era de esperarse, a medida que aumentaba la severidad o la temperatura del evento, el promedio de ocurrencias disminuyó. Por otro lado, los máximos ocurrieron en años relativamente recientes en escalas climáticas (2015 en adelante), mientras que los mínimos corresponden a años distantes de la actualidad, concentrándose en los años previos a 1980, exceptuando los días con más de 34°C, que no tuvo ocurrencias en 2002.

Cuadro 10: Resultados de los indicadores de Peligro

Ocurrencias/Año	2002	2017
Olas de calor de 25°C	40	48
Olas de calor de 28°C	22	32
Olas de calor de 30°C	9	20
Días con más de 34°C	0	15

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la estación meteorológica Quinta Normal, 2022

Cuadro 11: Promedio, máximo y mínimo de los indicadores de Peligro

Indicador	Promedio de ocurrencias al año	Máximo de ocurrencias al año	Mínimo de ocurrencias al año
Olas de calor de 25°C	42,13	51 (2019)	32 (1950)
Olas de calor de 28°C	22,78	37 (2019)	9 (1951)
Olas de calor de 30°C	8,74	20 (2015 y 2017)	0 (1971)
Días con más de 34°C	2,49	19 (2019)	0 (Múltiples años)

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la estación meteorológica Quinta Normal, 2022

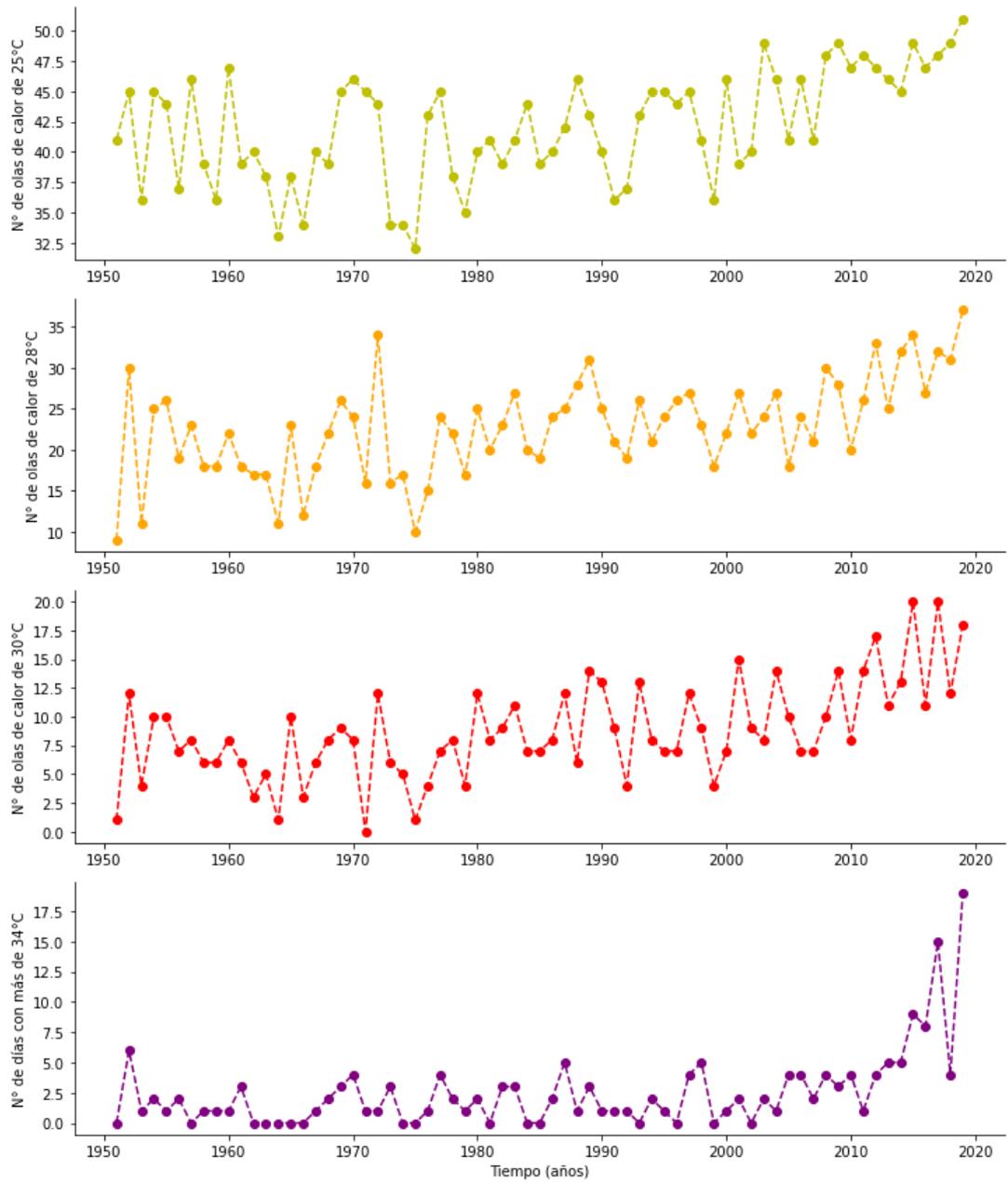


Figura 5: Comportamiento histórico de las olas de calor de 25, 28 y 30°C y los días con más de 34°C

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la estación meteorológica Quinta Normal, 2022

Indicadores de Sensibilidad

A continuación, se presenta una descripción de los resultados obtenidos a partir de los indicadores de sensibilidad, seguidos de una figura que contiene la distribución espacial de cada variable y un gráfico de torta que agrupa el número de zonas censales dentro de cada categoría por indicador.

1. Densidad poblacional por zona censal

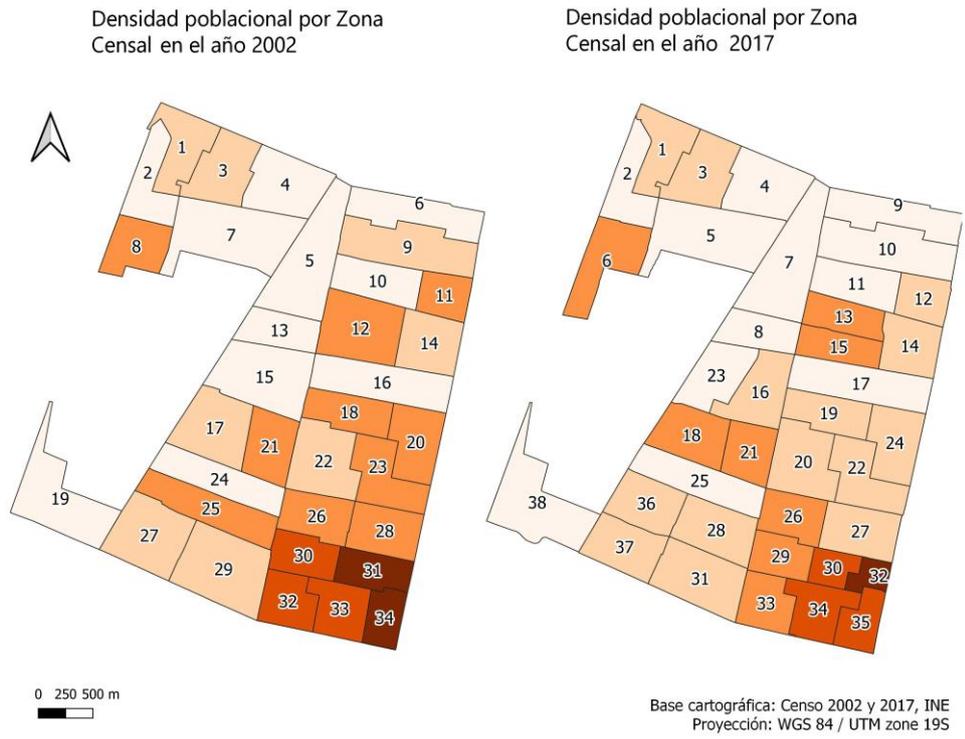
A partir de la Figura 6, se observa que, el sector sur oriente de la comuna, correspondiente al sector 1 PLADECOC (ver Figura 2), concentró los mayores valores de densidad poblacional para ambos años. Contrariamente, las zonas censales con menor densidad poblacional se ubicaron en el sector 4 del PLADECOC en 2002, y en los sectores centro y norte en 2017 (sectores 3, 4 y 5 PLADECOC). La zona censal con menor densidad poblacional en 2002 fue la número 5 con un valor de 7.270,69 personas por Km², mientras que, la con mayor densidad poblacional fue la 34, con 42.976,51 personas por Km². Por otro lado, en 2017 las zonas censales con menor y mayor densidad poblacional fueron la 38 (6.786,80 personas por Km²) y la 32 (38.530,12 personas por Km²) respectivamente (ver Cuadro 12). El promedio de la densidad poblacional para cada año fue 16.600,89 personas por Km² el año 2002 y 15.636,61 personas por Km² el año 2017.

A partir de los gráficos de torta, se puede visualizar que en el año 2017 aumentó el número de zonas censales dentro de las categorías “muy baja” y “baja” densidad poblacional, las cuales, en conjunto, pasaron de diecinueve zonas censales el año 2002 (55,9% del total), a veintiséis zonas censales el año 2017 (68,4% del total). Sucede lo contrario con las categorías “alta” y “muy alta”, las cuales experimentaron una disminución, pasando de cinco zonas censales en 2002 (14,4% del total), a cuatro zonas censales en 2017 (10,5% del total). A partir de esto, se infiere una disminución en la densidad poblacional en los años de evaluación. Dicha reducción concuerda con la disminución de la población residente en la comuna, que pasó de tener 175.594 habitantes el año 2002, a 162.505 habitantes en 2017, lo que implica una reducción del 7.45% en la población total residente en El Bosque (INE, 2017a).

Cuadro 12: Densidad poblacional por zona censal

Zona censal	2002	2017	Zona censal	2002	2017
1.	15.598,75	13.190,85	21.	21.576,61	18.796,86
2.	11.743,45	10.531,06	22.	14.853,69	16.588,85
3.	14.528,59	14.494,45	23.	19.068,55	10.335,86
4.	8.493,20	9.007,57	24.	9.061,17	15.748,40
5.	7.270,69	9.870,67	25.	17.310,52	7.679,71
6.	11.232,54	20.265,73	26.	18.430,10	19.254,59
7.	8.822,41	6.836,62	27.	14.307,92	12.652,56
8.	18.796,62	7.710,05	28.	17.089,23	16.671,87
9.	12.514,47	9.912,26	29.	14.672,84	22.163,89
10.	10.337,12	10.852,73	30.	23.585,94	32.440,33
11.	18.611,31	9.041,73	31.	39.347,00	12.211,71
12.	19.299,34	14.778,48	32.	26.084,54	38.530,12
13.	8.138,01	18.545,98	33.	24.099,90	21.687,27
14.	15.718,78	15.493,03	34.	42.976,51	24.688,45
15.	11.161,21	18.825,06	35.		30.170,80
16.	11.148,22	12.527,50	36.		12.717,42
17.	15.749,16	10.168,62	37.		15.635,51
18.	17.462,39	17.512,14	38.		6.786,80
19.	7.310,23	15.578,89			
20.	18.029,29	14.286,84			

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE, 2022



Personas por Km ² en cada zona censal	
6800 - 11700	Muy baja
11700 - 16700	Baja
16700 - 22200	Media
22200 - 32400	Alta
32400 - 43000	Muy alta



Figura 6: Densidad poblacional por zona censal
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE, 2022

2. Porcentaje de menores de 5 años por zona censal

A partir de la Figura 7, se puede identificar que, tanto en 2002 como en 2017, las zonas censales con mayor porcentaje de menores de 5 años se encontraban en el sector sur oriente de la comuna (sector 1 PLADECO, ver Figura 2). Por otro lado, las zonas censales con menores valores estuvieron en el sector norponiente de la comuna en 2002 y en el sector nororiente en 2017 (sectores 5 y 3 del PLADECO respectivamente). Las zonas censales con menor y mayor porcentaje de menores de 5 años en 2002 y en 2017 fueron respectivamente la número 4 (5,16%) y la número 23 (9,03%). Por otro lado, en 2017 las zonas censales con menor y mayor porcentaje de menores de 5 años fueron, la número 25 (5,03%) y la 30 (10,76%) respectivamente (ver Cuadro 13). El promedio del porcentaje de menores de 5 años por zona censal para cada año fue 7,52% el año 2002 y 7,29% el año 2017.

A simple vista se puede constatar que los resultados se encuentran distribuidos por categoría de manera más pareja en 2017. Principalmente porque, en 2002, la mayoría de las zonas censales (73,5%) se encontraban dentro de las categorías “media” y “alta”, mientras que, en 2017, solo el 50% de las zonas censales se encuentra en las categorías “media” y “alta”. Cabe destacar que los valores más altos para este indicador se encuentren en el año 2017, con tres zonas censales dentro de la categoría “muy alta” pese a que, el porcentaje total de menores de 5 años para toda la comuna fue mayor en el año 2002 (7.58%) (INE, 2002) que en el año 2017 (6,6%) (INE, 2017b).

Cuadro 13: Porcentaje de menores de 5 años por zona censal

Zona censal	2002	2017	Zona censal	2002	2017
1.	6,53	5,37	21.	7,42	7,35
2.	7,77	9,22	22.	8,94	8,19
3.	6,00	7,04	23.	9,03	6,54
4.	5,16	5,43	24.	6,06	8,56
5.	6,33	6,97	25.	7,95	5,03
6.	7,17	9,17	26.	8,86	8,54
7.	5,87	6,76	27.	6,28	7,02
8.	7,35	5,60	28.	7,25	7,72
9.	7,06	6,41	29.	8,48	9,23
10.	7,69	5,73	30.	8,73	10,76
11.	8,30	6,57	31.	8,80	6,15
12.	7,23	6,46	32.	8,68	9,67
13.	6,88	7,21	33.	8,56	8,96
14.	7,22	5,60	34.	8,79	8,86
15.	7,81	5,98	35.		9,99
16.	7,41	6,71	36.		6,38
17.	6,07	5,57	37.		7,03
18.	8,87	7,00	38.		6,95
19.	6,75	7,19			
20.	8,35	8,00			

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE, 2022

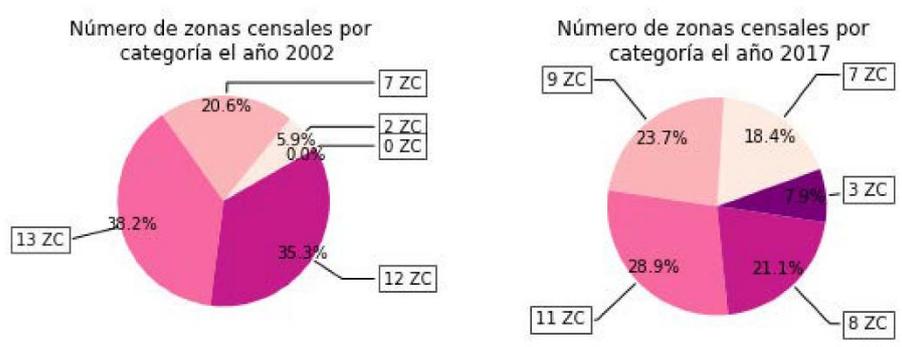
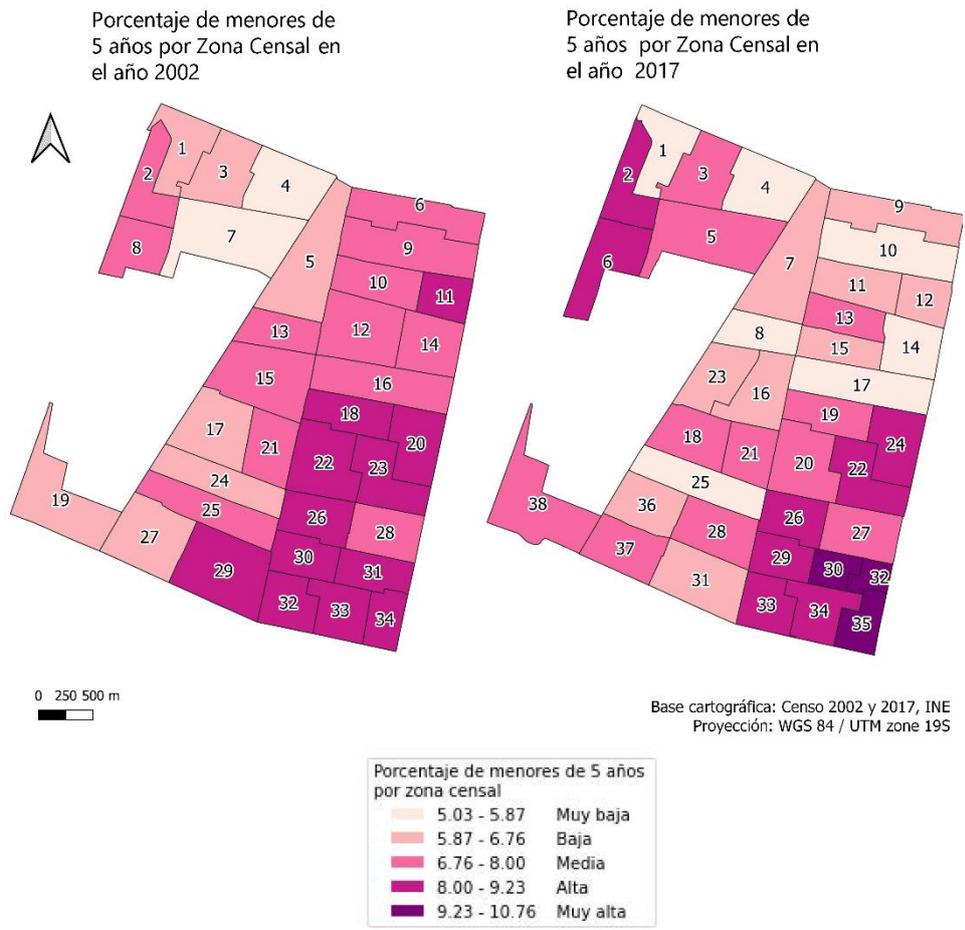


Figura 7: Porcentaje de menores de 5 años por zona censal
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE, 2022

3. Porcentaje de personas mayores de 65 años

A partir de la Figura 8 se puede observar que las zonas censales ubicadas en el sector sur de la comuna poseen menor porcentaje de personas mayores de 65 años en ambos años. Por otro lado, en 2002, las zonas censales con mayores valores se ubicaron en el centro de la comuna (sector 4 PLADECOC, ver Figura 2), mientras que, en 2017, se ubicaron en los sectores centro y nororiente de la comuna (sectores 4 y 3 PLADECOC). Las zonas censales con menor cantidad de adultos mayores en cada año fueron la 31 en 2002 con un 2,11% y la 35 en 2017, con un 4,5%. Por otro lado, la zona censal 24 (2002), correspondiente a la 25 en 2017, se mantuvo como la con mayor porcentaje de adultos mayores en ambos años y aumentó su valor de 16,81% en 2002 a 18,21% en 2017 (ver Cuadro 14). El promedio de mayores de 65 años para cada año fue 7,61 en 2002 y 12,21 en 2017.

Las categorías “muy baja”, “alta” y “muy alta” fueron las que tuvieron mayores cambios entre los años 2002 – 2017. La categoría “muy baja” disminuyó de diez (29,4% del total) a tres (7,3% del total), la categoría “alta” aumentó de cuatro zonas censales (11,8% del total) a dieciséis zonas censales (42,1 del total) y la categoría “muy alta” aumentó de una zona censal (2,9% del total) a siete zonas censales (18,4% del total). A partir de esto, se infiere un envejecimiento de la población en la comuna, que coincide con los resultados del censo 2017 a nivel nacional, donde se estima que, la proporción de mayores de 65 años paso de un 8,1% en 2002 (INE, 2002) a un 11,4% en 2017 (INE, 2017c).

Cuadro 14: Porcentaje de personas mayores de 65 años por zona censal

Zona censal	2002	2017	Zona censal	2002	2017
1.	11,48	12,08	21.	12,76	13,83
2.	5,24	10,03	22.	6,78	14,31
3.	11,78	14,23	23.	5,55	14,90
4.	12,68	15,54	24.	16,81	12,76
5.	11,64	14,37	25.	5,85	18,21
6.	8,64	7,47	26.	3,84	9,60
7.	11,12	13,36	27.	4,91	12,56
8.	10,16	14,88	28.	4,91	12,70
9.	11,55	15,60	29.	4,51	6,75
10.	8,90	17,30	30.	2,34	4,97
11.	9,42	14,12	31.	2,11	11,70
12.	7,13	11,11	32.	2,49	5,15
13.	12,37	11,28	33.	3,28	6,32
14.	7,42	16,59	34.	2,24	6,86
15.	8,08	11,87	35.		4,50
16.	10,46	13,88	36.		16,72
17.	13,21	13,26	37.		8,28
18.	6,10	13,59	38.		13,79
19.	7,03	13,89			
20.	6,22	15,71			

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE, 2022

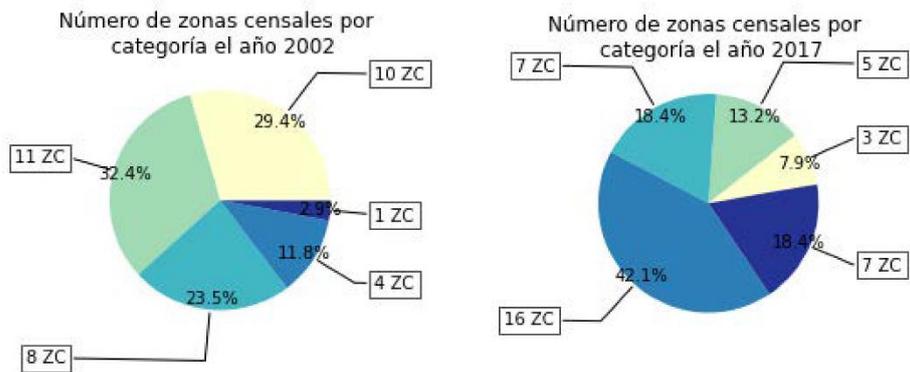
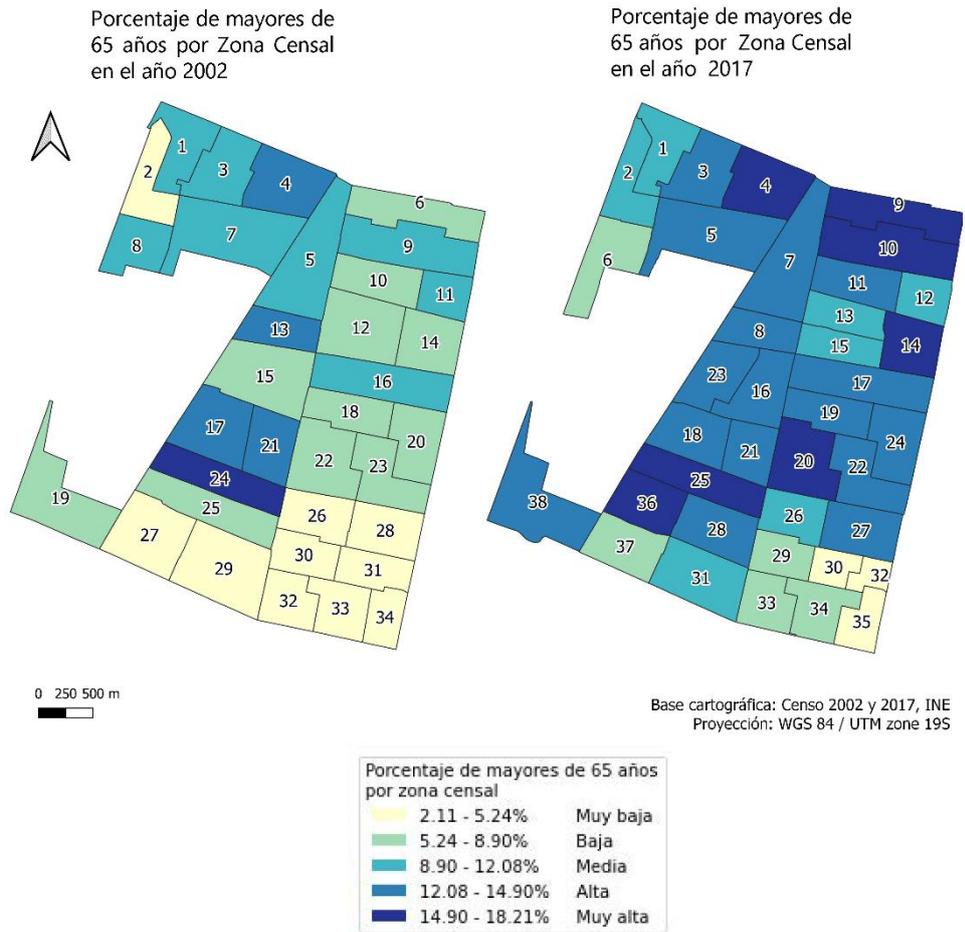


Figura 8: Porcentaje de personas mayores de 65 años por zona censal
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE, 2022

4. Porcentaje de trabajadores al aire libre

En la Figura 9 se puede observar que, tanto en 2002 como en 2017, las zonas censales con mayor porcentaje de trabajadores al aire libre se concentraron en los sectores norponiente, centro-oriente y suroriente de la comuna, correspondientes a los sectores 5, 2 y 1 del PLADECOC respectivamente (ver Figura 2). En contraste, las zonas censales con menor porcentaje de trabajadores al aire libre se encuentran principalmente en los sectores centro-norte y surponiente en ambos años (sectores 4 y 6 del PLADECOC). Las zonas censales con menor porcentaje de trabajadores al aire libre para cada año fueron: la 24 en 2002, con un 1,39% y la 7 en 2017, con 1,93%. En cambio, las zonas censales con mayor porcentaje de trabajadores al aire libre fueron la 20, con un 6,94% en 2002, y la 32 con un 6,89% en 2017 (ver Cuadro 15). Por otro lado, el promedio del indicador en cada año fue de 4.11% en 2002, y 4,66% en 2017.

Las categorías “muy baja” y “muy alta” tuvieron los mayores cambios entre los años 2002 – 2017. La categoría “muy baja” disminuyó de ocho zonas censales (23,5% del total) en 2002, a cuatro zonas censales (10,5% del total) en 2017, mientras que la categoría “muy alta” aumentó de seis zonas censales (17,6% del total) a once zonas censales (28,9% del total). En síntesis, se puede inferir que el número de trabajadores al aire libre aumentó ligeramente en la comuna. El total de trabajadores al aire libre el año 2002 fue de 7.505 personas, ligeramente menor a las 7.818 personas del 2017. Este aumento de trabajadores en el rubro de la construcción va en concordancia con el aumento de personas que trabajan por ingreso entre los años 2002 – 2017. Dicho aumento pasó desde 56.280 en 2002 (INE, 2002) a 68.949 personas en 2017 trabajando por ingreso (INE, 2017b).

Cuadro 15: Porcentaje de trabajadores al aire libre por zona censal

Zona censal	2002	2017	Zona censal	2002	2017
1.	5,20	5,78	21.	3,86	4,50
2.	4,40	4,80	22.	6,15	6,54
3.	4,10	3,81	23.	6,56	3,80
4.	1,45	2,25	24.	1,39	6,84
5.	1,81	2,97	25.	5,85	2,53
6.	3,05	5,15	26.	6,16	6,61
7.	2,54	1,93	27.	1,99	5,72
8.	3,79	2,43	28.	4,83	6,62
9.	2,43	3,97	29.	4,45	6,11
10.	2,23	3,32	30.	6,07	6,86
11.	4,30	3,25	31.	5,23	4,08
12.	2,86	5,31	32.	5,04	6,89
13.	2,80	3,33	33.	5,70	6,84
14.	3,56	3,79	34.	6,63	6,73
15.	3,95	4,45	35.		6,84
16.	3,47	4,19	36.		4,10
17.	3,40	3,88	37.		2,90
18.	5,27	3,55	38.		3,15
19.	2,30	5,26			
20.	6,94	5,99			

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE, 2022

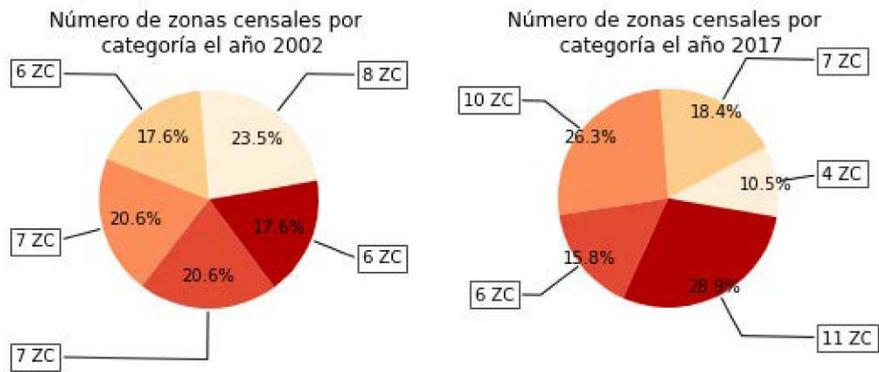
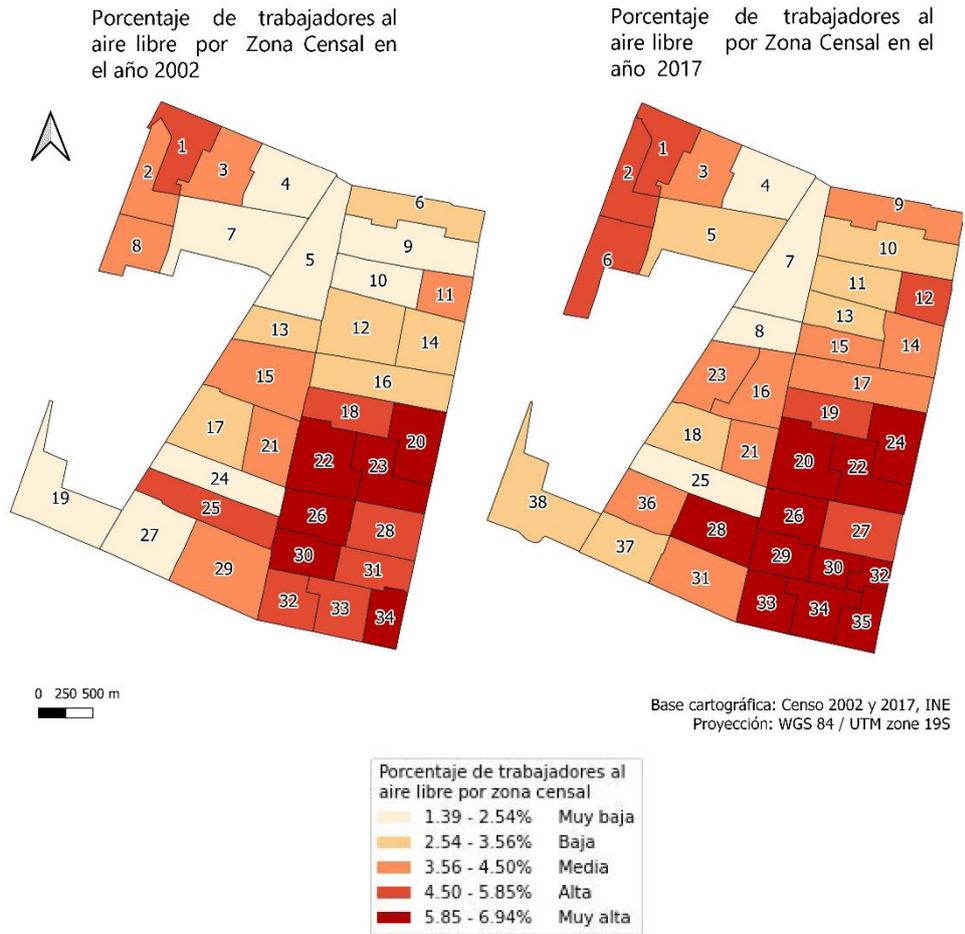


Figura 9: Porcentaje de trabajadores al aire libre por zona censal
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE, 2022

5. Porcentaje de personas con reducida escolaridad

En la Figura 10 se puede observar que las zonas censales con mayor porcentaje de personas con reducida escolaridad (menos de 8 años de estudios formales) se concentran en los sectores norponiente, centro-oriente y suroriente de la comuna en ambos años (5, 2 y 1 del PLADECOC, ver Figura 2). En contraste, las zonas censales con menor porcentaje de personas con reducida escolaridad se encuentran principalmente en los sectores centro-norte y surponiente en ambos años de evaluación (sectores 4 y 6 del PLADECOC). Las zonas censales con menor porcentaje de personas con reducida escolaridad para cada año fueron: la 4 en 2002, con un 20,48% y la 4 en 2017, con un 21,06%. En cambio, las con mayor porcentaje de trabajadores al aire libre fueron la 23, con un 42,72% en 2002, y la 33 con un 39,74% en 2017 (ver Cuadro 16). Por otro lado, el promedio del indicador en el año 2002 fue de 34,02%, mientras que, en 2017, el promedio fue de 31,74%.

Las categorías “baja” y “muy alta” tuvieron los mayores cambios entre los años 2002 – 2017. La categoría “baja” aumentó de seis zonas censales (17,6% del total) en 2002, a doce zonas censales (31,6% del total) en 2017, por otra parte, la categoría “muy alta” disminuyó de ocho zonas censales (23,5% del total) a tres zonas censales (7,9 % del total). El total de personas con reducida escolaridad en cada año fue de 59.979 en 2002 y 52.348 en 2017. Se puede inferir entonces, que existe una disminución en los valores del indicador de manera general en la comuna entre los años 2002 – 2017.

Cuadro 16: Porcentaje de personas con reducida escolaridad por zona censal

Zona censal	2002	2017	Zona censal	2002	2017
1.	40,51	33,48	21.	37,45	32,17
2.	36,70	34,75	22.	41,31	38,35
3.	33,09	27,84	23.	42,72	28,77
4.	20,48	21,06	24.	22,32	37,05
5.	24,67	26,31	25.	37,32	22,34
6.	28,25	35,96	26.	37,95	38,76
7.	28,45	24,52	27.	23,35	37,66
8.	37,23	24,89	28.	39,24	39,12
9.	30,55	26,54	29.	33,07	38,41
10.	30,05	27,07	30.	38,64	37,43
11.	40,06	25,42	31.	37,70	28,81
12.	28,94	35,81	32.	38,55	39,20
13.	28,28	28,63	33.	38,20	39,74
14.	35,93	33,16	34.	39,08	38,69
15.	34,22	28,82	35.		37,95
16.	33,62	30,29	36.		26,82
17.	31,41	29,15	37.		23,59
18.	40,64	25,64	38.		26,70
19.	25,15	36,83			
20.	41,57	38,28			

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE, 2022

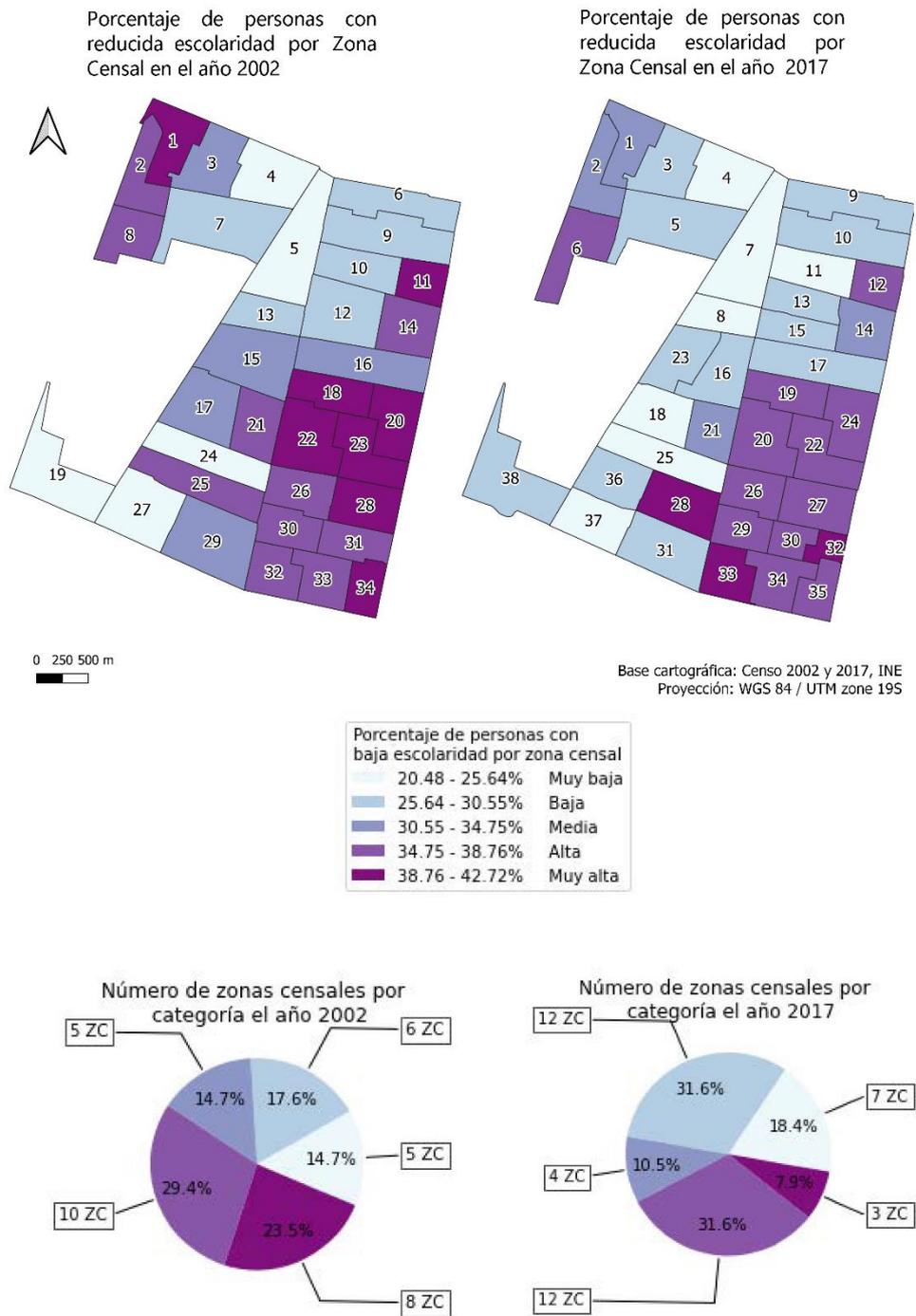


Figura 10: Porcentaje de personas con reducida escolaridad por zona censal
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE, 2022

6. Porcentaje de inmigrantes

En la Figura 11 se puede observar que las zonas censales con mayor porcentaje de inmigrantes en 2002 se concentraban en el sector norte de la comuna (sectores 4 y 5 PLADECO, ver Figura 2), mientras que las zonas censales del suroriente tenían bajos valores para el indicador (sectores 1 y 2 PLADECO). En contraste, en 2017, se ve una mayor concentración de inmigrantes en sector suroriente (sector 1 PLADECO). Las zonas censales con menor porcentaje de inmigrantes para cada año fueron: la 8 en 2002, con un 0,2% y la 19 en 2017, con un 0,35%. En cambio, las con mayor porcentaje de inmigrantes fueron la 4, con un 1,57% en 2002, y la 33 con un 2,44% en 2017 (ver Cuadro 17). Por otro lado, el promedio del indicador aumentó de 0,62% en 2002, a 1,23% en 2017.

Prácticamente todas las categorías tuvieron cambios notorios, a excepción de la categoría media que tuvo la menor variación. Las categorías “muy baja” y “baja” disminuyeron de veintiocho zonas censales en 2002 (82,4% del total) a doce zonas censales en 2017 (31,6% del total). Contrariamente, las categorías “muy alta” y “alta” aumentaron de dos en 2002 (5,9% del total) a diecisiete en 2017 (44,7% del total). Llama la atención el abrupto cambio en el sector suroriente, que en 2002 se caracterizaba por predominar las categorías “baja” y “muy baja”, en contraste con la situación del 2017, donde predominan las categorías “alta” y “muy alta”. El abrupto cambio en las mediciones de este indicador puede tener una explicación en la aceleración del proceso migratorio hacia Chile desde en 2013 hasta la actualidad (INE, 2018c). Además, concuerda con el aumento en el porcentaje de inmigrantes extranjeros a nivel nacional medido por el censo, el cual, en 2002, registró 187.008 personas residentes nacidas en el extranjero (1,3% del total nacional), cifra que aumentó a 746.465 personas en 2017 (4,4% del total nacional) (INE, 2020).

Cuadro 17: Porcentaje de inmigrantes por zona censal

Zona censal	2002	2017	Zona censal	2002	2017
1.	0,49	0,58	21.	0,76	0,76
2.	0,32	1,19	22.	0,37	0,74
3.	0,66	1,17	23.	0,30	1,12
4.	1,57	1,98	24.	1,13	1,20
5.	1,00	1,48	25.	0,37	0,94
6.	1,40	0,58	26.	0,23	2,17
7.	0,96	1,77	27.	0,67	0,38
8.	0,20	1,36	28.	0,23	1,58
9.	0,76	1,71	29.	0,61	2,42
10.	0,66	1,50	30.	0,49	1,33
11.	0,35	0,59	31.	0,77	0,63
12.	0,61	0,70	32.	0,31	1,32
13.	0,81	0,81	33.	0,59	2,44
14.	0,50	1,33	34.	0,29	1,94
15.	0,63	1,86	35.		0,70
16.	0,57	1,02	36.		0,63
17.	1,09	1,59	37.		1,09
18.	0,51	1,50	38.		1,14
19.	0,55	0,35			
20.	0,27	1,17			

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE, 2022

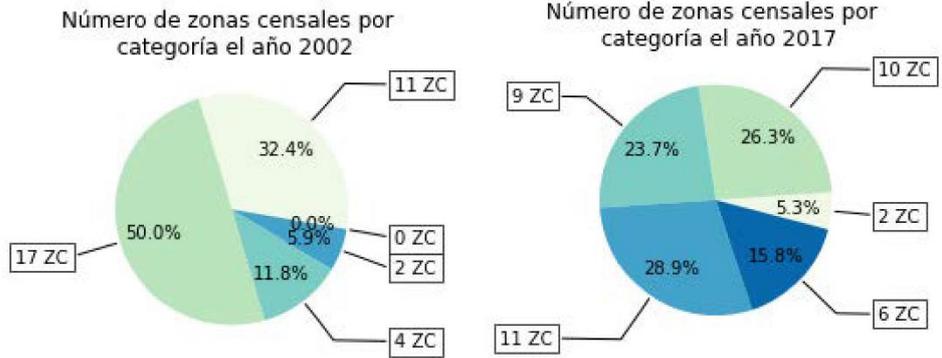
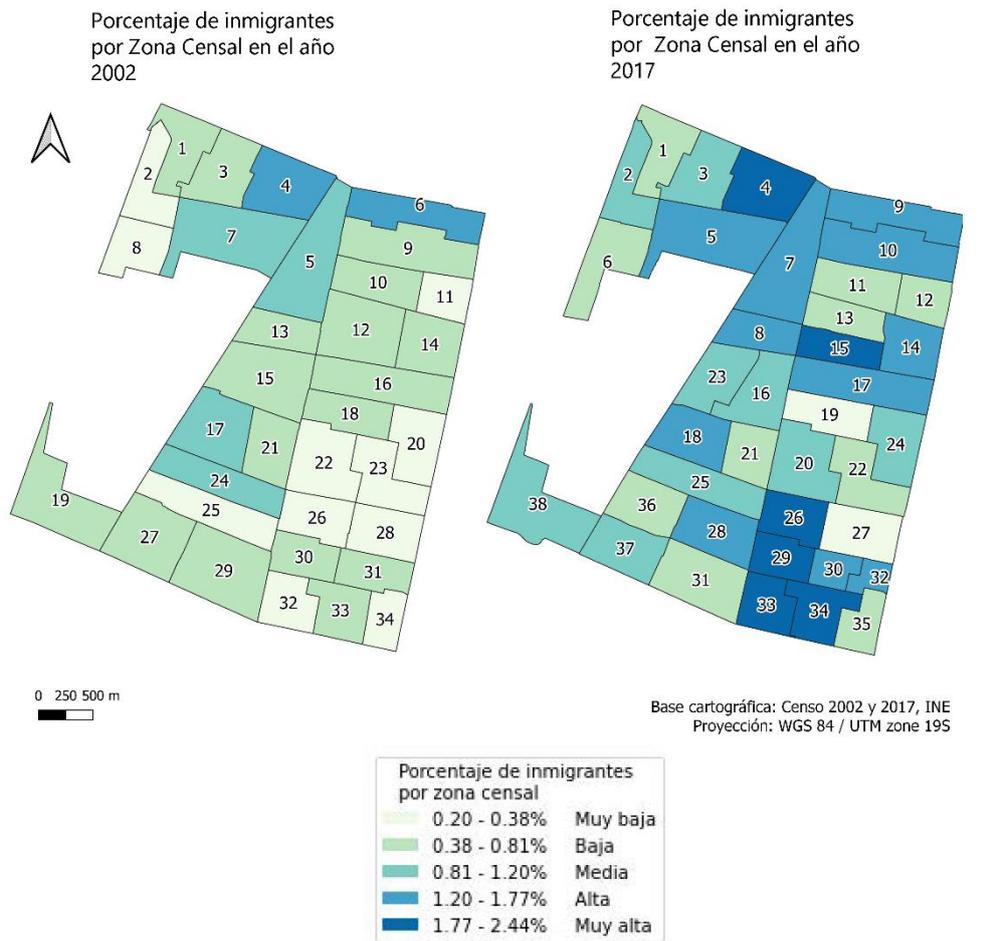


Figura 11: Porcentaje de inmigrantes por zona censal
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE, 2022

7. Porcentaje de viviendas hacinadas

En la Figura 12 se puede observar que las zonas censales con mayor porcentaje de viviendas hacinadas se encuentran en los sectores suroriente, centro-oriente y norponiente (1, 2 y 5 del PLADECO, ver Figura 2) en ambos años. Por otro lado, tanto en 2002 como en 2017, los sectores centro norte y surponiente (4, 5 y 6 del PLADECO) tienen menor porcentaje de hacinamiento. Las zonas censales con menor porcentaje de hacinamiento en cada año fueron la 24 en 2002, con un 7,31 % de hacinamiento, y la 25 en 2017, con un 1,92% de hacinamiento. Contrariamente, las zonas censales con el mayor porcentaje de sus viviendas en situación de hacinamiento son la 23 en 2002, con un 35,72% de sus viviendas hacinadas, y la número 32 con un 16,56% de sus viviendas en situación de hacinamiento (ver Cuadro 18). Por otro lado, total de viviendas hacinadas también disminuyó, pasando de 9.738 (23,6%) en 2002 a un 4.589 (9,6%) en 2017.

Hubo cambios importantes en todas las categorías. Se puede ver que, las categorías “muy baja”, “baja” y “media” aumentaron significativamente, pasando de sumar nueve zonas censales entre las 3 categorías (26,4% del total), a las 38 zonas censales del 2017 (100%). Por otro lado, las categorías “alta” y “muy alta” pasaron 25 zonas censales (73,6% del total) en 2002, a no tener ninguna zona censal en 2017 (0% del total). Por lo tanto, se infiere una reducción generalizada del índice de hacinamiento en la comuna entre los años 2002 – 2017, que podría deberse, entre otros factores, a la disminución de la población residente en la comuna (de 175.594 personas en 2002 a 162.505 personas en 2017) (INE, 2017a) y al aumento del total de viviendas (de 42 808 viviendas en 2002 a 47.941 viviendas en 2017) (INE, 2017a).

Cuadro 18: Porcentaje de viviendas hacinadas por zona censal

Zona censal	2002	2017	Zona censal	2002	2017
1.	33,30	12,78	21.	22,85	8,06
2.	28,96	11,32	22.	29,84	12,69
3.	16,24	6,83	23.	35,72	9,73
4.	9,78	3,52	24.	7,31	11,18
5.	11,92	6,72	25.	27,62	1,92
6.	21,51	8,37	26.	31,52	14,07
7.	19,22	4,67	27.	10,95	10,66
8.	26,83	7,17	28.	28,01	14,93
9.	17,65	8,73	29.	21,34	13,31
10.	23,08	7,25	30.	30,68	11,90
11.	32,21	8,68	31.	27,54	6,90
12.	13,50	11,94	32.	34,23	16,56
13.	22,22	6,21	33.	26,06	14,72
14.	22,23	10,12	34.	32,42	12,98
15.	24,21	7,07	35.		15,54
16.	22,23	10,77	36.		6,87
17.	14,15	10,04	37.		3,28
18.	31,40	4,67	38.		5,76
19.	13,02	14,36			
20.	32,68	13,42			

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE, 2022

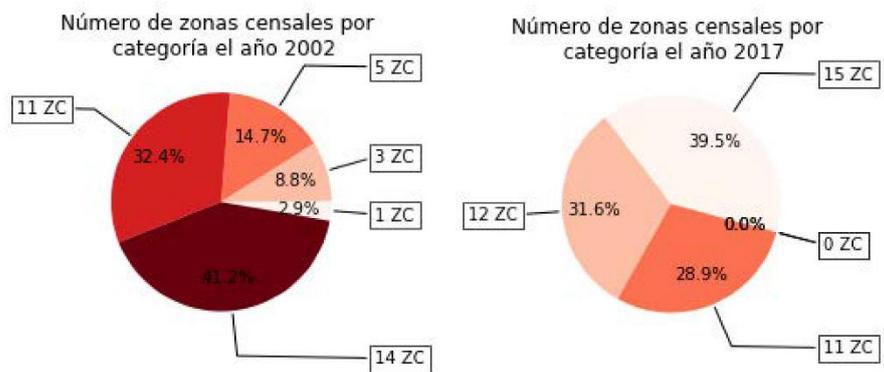
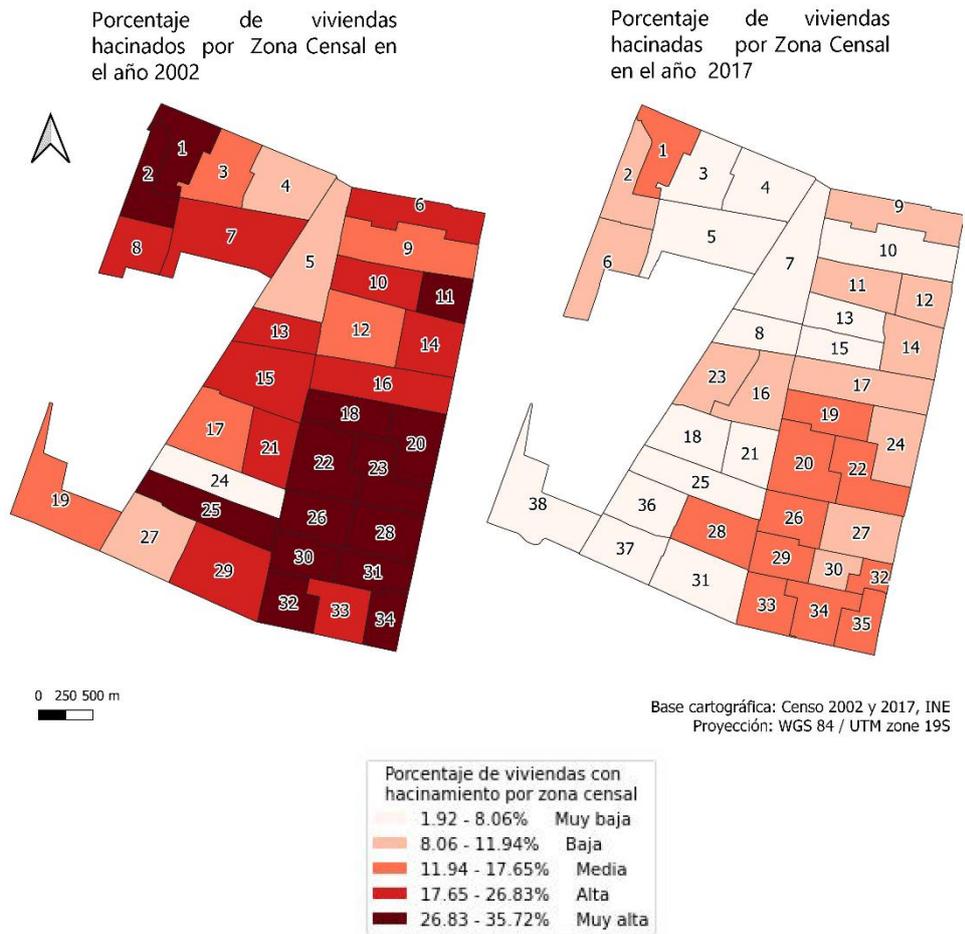


Figura 12: Porcentaje de viviendas hacinadas por zona censal
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE, 2022

8. Porcentaje de adultos mayores que viven solos

En la Figura 13 se puede observar que las zonas censales mayor porcentaje de adultos mayores que viven solos se concentran en los sectores centro y norponiente de la comuna, correspondientes a los sectores 4 y 5 del PLADECO (ver Figura 2), mientras que el sector suroriente (sector 1 PLADECO) se caracteriza por tener bajos valores de este indicador tanto en 2002 como en 2017. Las zonas censales con menor porcentaje de adultos mayores solos en cada año fueron: la 32 en 2002 con un 0,26%, y la 30 en 2017 con un 0,72%. Por otro lado, las zonas censales con mayor porcentaje de adultos mayores solos en cada año fueron: la 17 en 2002 con un 1,61%, y la 25 en 2017 con un 2,64% (ver Cuadro 19). El promedio del indicador para cada año fue de 0,83% en 2002 y 1,57% en 2017.

Las categorías “muy baja”, “alta” y “muy alta” fueron las que tuvieron mayores cambios entre los años 2002 – 2017. La categoría “muy baja” disminuyó de diecisiete zonas censales (50 del total) a cero zonas censales (0% del total), la categoría “alta” aumentó de cinco zonas censales (14,7% del total) a quince zonas censales (39,5% del total) y la categoría “muy alta” aumentó de cero zonas censales (0% del total) a once zonas censales (28,9% del total). A partir de esto, se infiere un aumento del número de adultos mayores que viven solos en la comuna, que podía tener relación con el aumento de adultos mayores a nivel de país, que paso de un 8,1% en 2002 a un 11,4% en 2017 (INE, 2017c).

Cuadro 19: Porcentaje de adultos mayores que viven solos por zona censal

Zona censal	2002	2017	Zona censal	2002	2017
1.	1,14	1,21	21.	1,48	2,09
2.	0,74	1,26	22.	0,56	1,63
3.	1,53	1,74	23.	0,52	2,31
4.	1,60	2,04	24.	1,29	1,64
5.	0,87	1,74	25.	0,68	2,64
6.	1,01	1,01	26.	0,58	1,06
7.	1,26	1,52	27.	0,49	1,56
8.	1,38	2,26	28.	0,39	1,49
9.	0,98	2,03	29.	0,61	0,73
10.	0,83	1,74	30.	0,29	0,72
11.	0,67	1,6	31.	0,30	1,55
12.	0,91	1,57	32.	0,26	0,96
13.	1,34	1,33	33.	0,33	0,82
14.	0,63	1,93	34.	0,41	0,97
15.	0,91	1,61	35.		0,79
16.	1,03	1,58	36.		1,9
17.	1,61	1,8	37.		1,36
18.	0,63	1,88	38.		1,97
19.	0,60	1,46			
20.	0,42	2,07			

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE, 2022

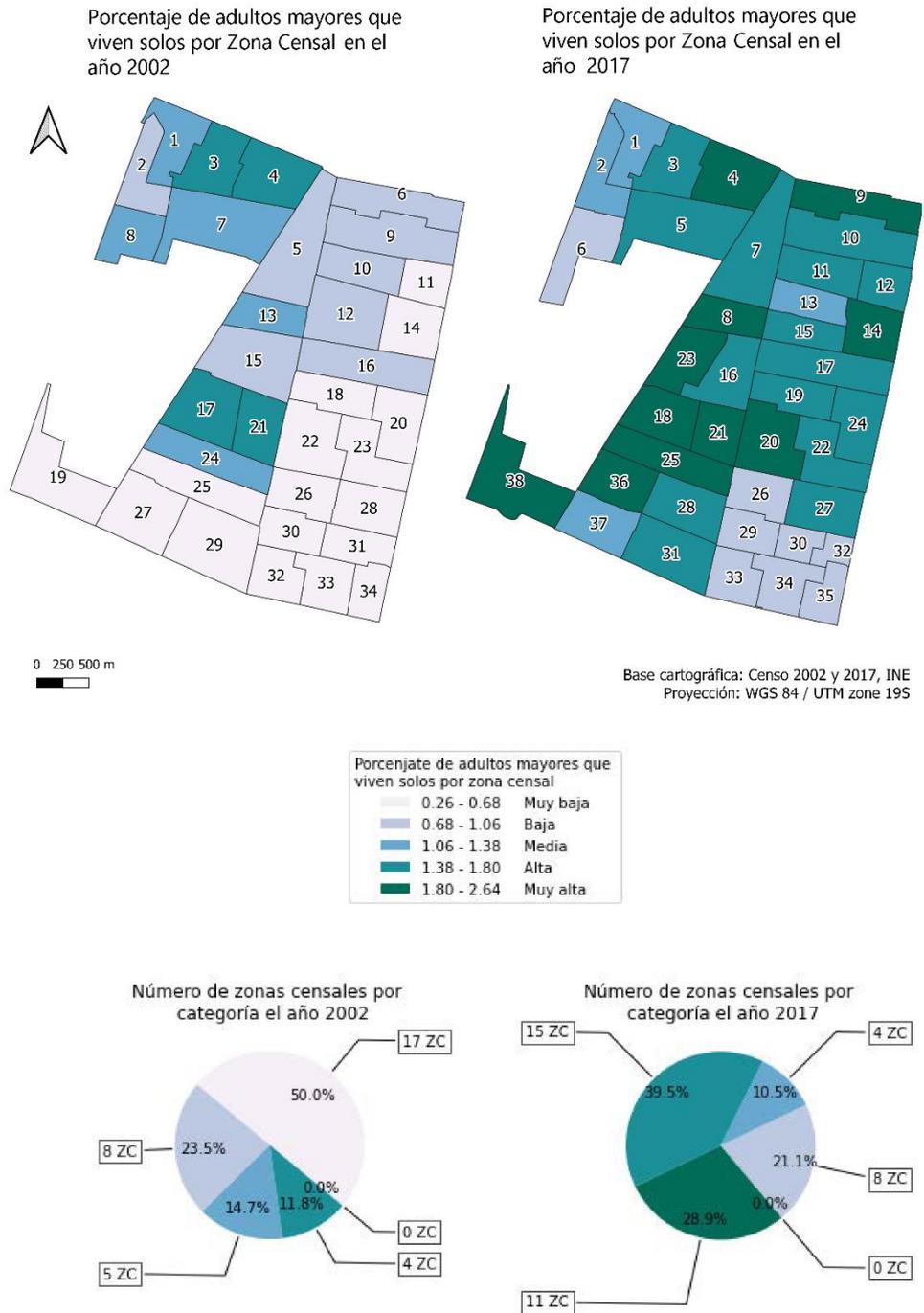


Figura 13: Porcentaje de adultos mayores que viven solos por zona censal
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE, 2022

9. Porcentaje de viviendas con materialidad aceptable

En la Figura 14 se puede observar que las zonas censales mayor porcentaje de viviendas con materialidad aceptable se concentran en los sectores surponiente y norte (sectores 6, 5 y 3 del PLADECO, ver Figura 2) de la comuna en 2002, y en el sector surponiente en 2017. Por otro lado, el sector centro oriente (sector 2 PLADECO) posee valores notoriamente más bajos para este indicador, en ambos años de evaluación. Las zonas censales con menor porcentaje de viviendas con materialidad aceptable en cada año fueron: la 32 en 2002 con un 62,19%, y la 5 en 2017 con un 68,4%. Por otro lado, las zonas censales con mayor porcentaje de viviendas con materialidad aceptable en cada año fueron: la 24 en 2002 con un 98,3%, y la 25 en 2017 con un 91,9% (ver Cuadro 20). El promedio del indicador para cada año fue de 81,2% en 2002 y 81,68% en 2017.

Las categorías “muy baja”, “media” y “muy alta” cambiaron considerablemente. La categoría “muy baja” disminuyó de seis zonas censales (17,6% del total) en 2002 a una zona censal (2,6% del total) en 2017. La categoría “media” aumentó de ocho zonas censales (23,5% del total) en 2002 a 16 zonas censales (42,1% del total) en 2017. Por último, la categoría “muy alta” disminuyó de cuatro zonas censales (11,8% del total) a una (2,6% del total). Llama la atención este último hallazgo, ya que a grandes rasgos, el porcentaje de viviendas con materialidad aceptable mejoró en la comuna, pasando de un total de viviendas con materialidad aceptable fue 35.231 viviendas en 2002, en cambio, a 38.972 viviendas en 2017. Las mejoras en la calidad de la vivienda pueden estar relacionada con creación de la Entidad de Gestión Inmobiliaria Social (EGIS) municipal en el año 2008 (Rodríguez, 2018), esta se encarga de la vinculación con los distintos comités de vivienda presentes en la comuna, gestionando los requisitos de los programas de vivienda, negociando y ejecutando, de manera que el proyecto tenga resolución. En la comuna existen al menos seis comités de vivienda (Municipalidad El Bosque, 2018).

Cuadro 20: Porcentaje de viviendas con materialidad aceptable por zona censal

Zona censal	2002	2017	Zona censal	2002	2017
1.	86,46	76,29	21.	82,92	79,95
2.	85,02	83,63	22.	67,32	77,56
3.	84,17	83,59	23.	77,39	76,11
4.	93,02	86,6	24.	98,29	79,54
5.	89,04	68,4	25.	78,68	91,87
6.	82,21	85,4	26.	66,45	76,79
7.	81,38	83,61	27.	95,49	74,44
8.	73,95	83,22	28.	66,92	80,73
9.	87,71	75,33	29.	80,89	81,43
10.	83,85	84,5	30.	82,37	90,15
11.	86,97	83,44	31.	89,91	85,52
12.	94,69	77,72	32.	62,19	88,07
13.	86,81	87,27	33.	67,70	79,8
14.	75,75	80,97	34.	72,21	80,05
15.	77,08	82,29	35.		82,05
16.	78,33	81,38	36.		88,34
17.	89,36	76,81	37.		84,72
18.	80,41	85,93	38.		84,72
19.	87,93	80,11			
20.	68,09	75,52			

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE, 2022

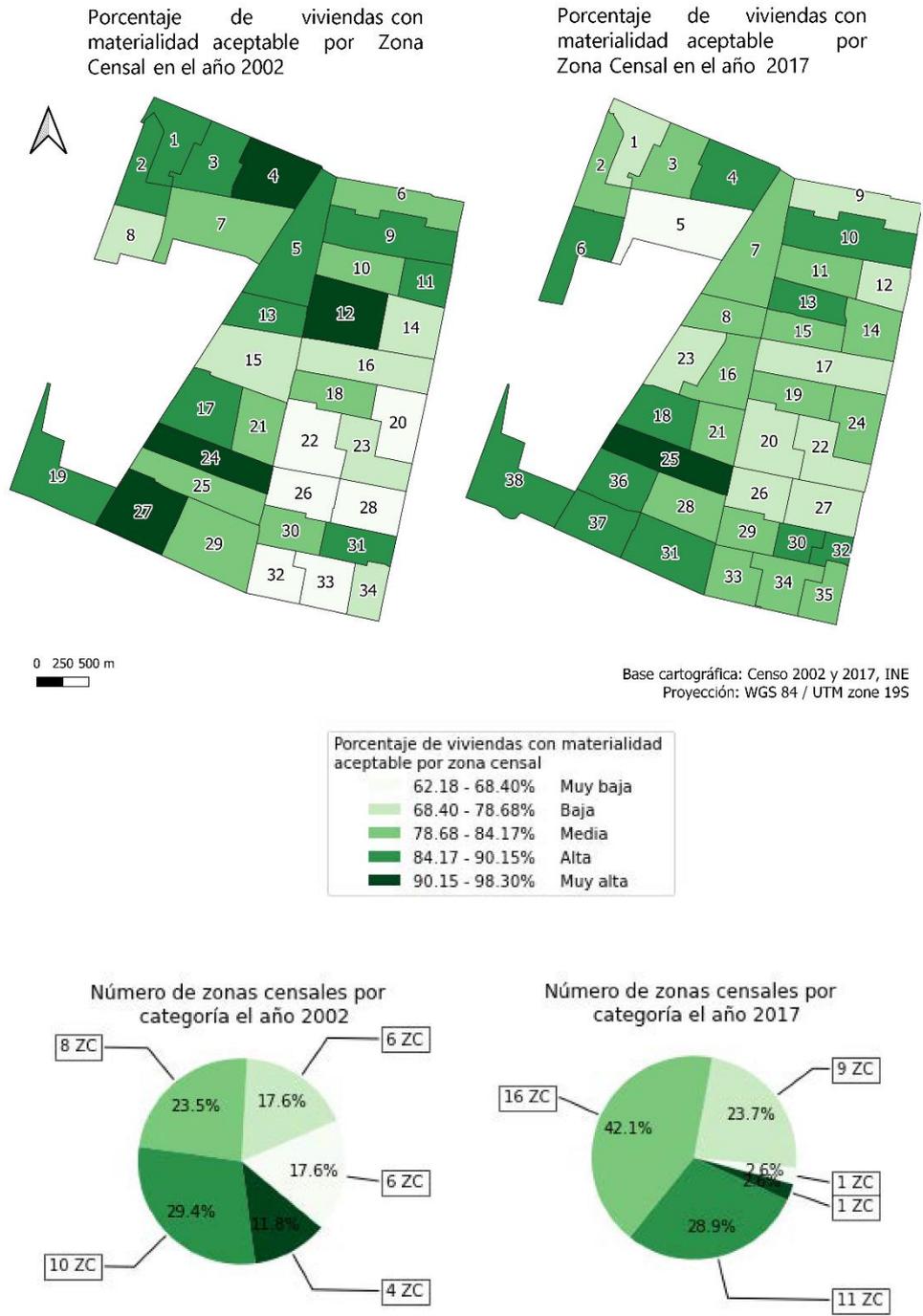


Figura 14: Porcentaje de viviendas con materialidad aceptable por zona censal
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE, 2022

10. Promedio del índice SAVI

En la Figura 15 se puede observar que las zonas censales con mayor valor para el índice SAVI se concentran en los sectores centro-norte y surponiente (sectores 4, 5 y 6 PLADECO, ver Figura 2) en ambos años de evaluación. Por el contrario, las zonas censales con menores valores para el indicador se concentran en los sectores surponiente y centro-oriente (sectores 1 y 2 PLADECO) en ambos años. Las zonas censales con menor promedio del índice SAVI en cada año fueron: la 34 en 2002 con un 0,052, y la 22 en 2017 con un 0,015. Por otro lado, las zonas censales con mayor promedio del índice SAVI en cada año fueron: la 19 en 2002 con un 0,114, y la 5 en 2017 con un 0,089 (ver Cuadro 21). El promedio del indicador para cada año fue de 0,074 en 2002 y 0,044 en 2017.

Prácticamente todas las categorías se vieron fuertemente modificadas. En 2002, ninguna zona censal alcanzó la categoría “muy baja”, y solo dos zonas censales quedaron en la categoría “baja”. El resto de las zonas censales se distribuyeron entre las categorías “media”, “alta” y “muy alta”, y en conjunto, representan el 94,4% de las zonas censales. Por otro lado, en 2017 se vieron representadas todas las categorías, siendo las más predominantes la “muy baja” con 16 zonas censales, y la “baja” con 13 zonas censales. El resto fueron clasificadas dentro de las categorías “media”, “alta” y “muy alta”, y en conjunto, representan solo un 23,6% de las zonas censales. A partir de esto se infiere una disminución en la vigorosidad de la vegetación presente en la comuna. Esta puede haber sido causada por la situación de mega sequía que se ha presentado en la zona centro del país, afectando a toda el área metropolitana de Santiago. A pesar de que el municipio se encarga del riego de las áreas verdes de la comuna, es posible que, dada la situación de mega sequía, el riego se haya tenido que limitar a mantener la vegetación viva, pero menos vigorosa que en el pasado. Existe evidencia de que los años con sequía han afectado el crecimiento de la vegetación urbana en Santiago de Chile (Moser 2018) y de que los impactos de la mega sequía en Chile central en la vegetación son evidenciables a través de índices espectrales (Garreaud, 2017). Sin embargo, no se encontró evidencia que diagnostiquen ambos fenómenos en un mismo estudio.

Cuadro 21: Promedio del índice SAVI por zona censal

Zona censal	2002	2017	Zona censal	2002	2017
1.	0,078	0,036	21.	0,063	0,030
2.	0,071	0,047	22.	0,064	0,015
3.	0,073	0,046	23.	0,059	0,063
4.	0,092	0,071	24.	0,104	0,028
5.	0,096	0,089	25.	0,081	0,058
6.	0,080	0,065	26.	0,060	0,040
7.	0,093	0,070	27.	0,088	0,045
8.	0,073	0,047	28.	0,070	0,025
9.	0,071	0,050	29.	0,075	0,035
10.	0,079	0,050	30.	0,063	0,030
11.	0,066	0,072	31.	0,053	0,037
12.	0,080	0,029	32.	0,069	0,030
13.	0,092	0,058	33.	0,059	0,033
14.	0,065	0,039	34.	0,052	0,026
15.	0,086	0,046	35.		0,027
16.	0,075	0,034	36.		0,048
17.	0,077	0,052	37.		0,039
18.	0,060	0,044	38.		0,073
19.	0,114	0,020			
20.	0,062	0,031			

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del USGS, 2022

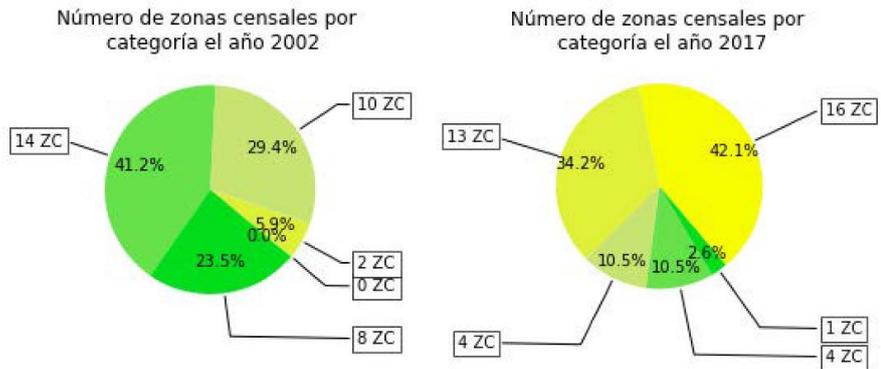
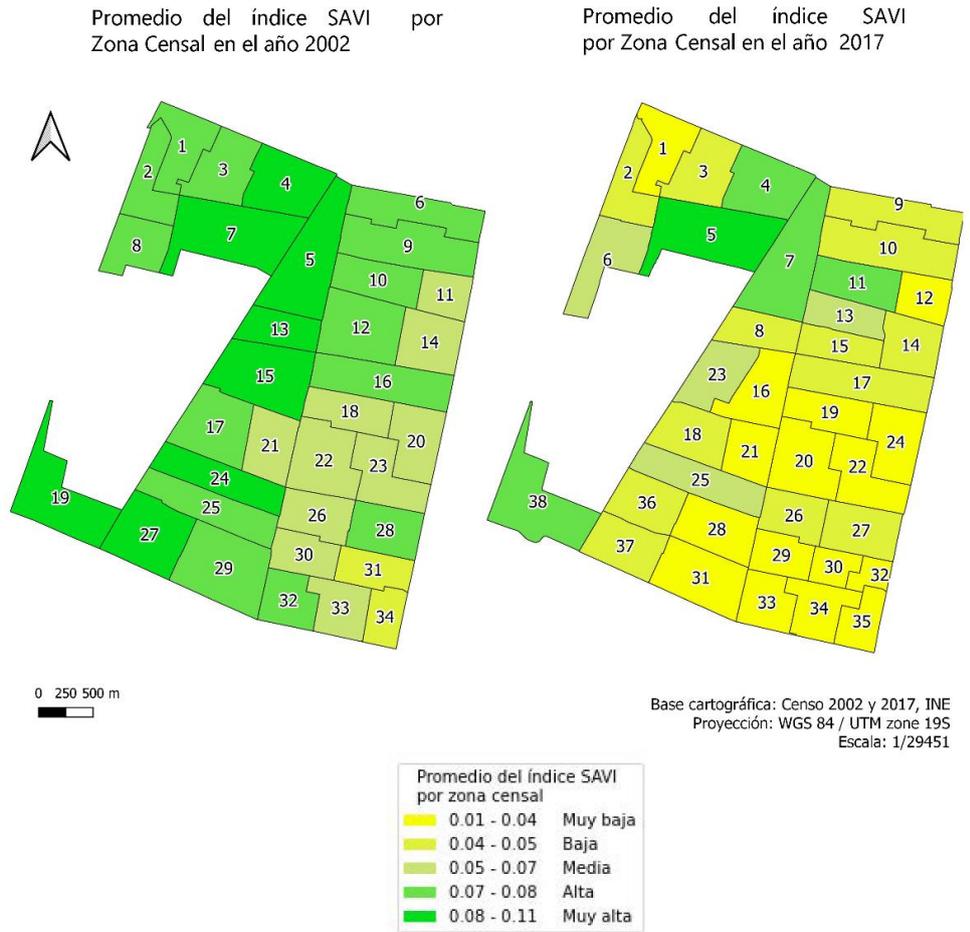


Figura 15: Promedio del índice SAVI por zona censal
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del USGS, 2022

Indicadores de Equipamiento Social

A continuación, se presenta la descripción y respectivo análisis para cada indicador del índice Equipamiento Social. Además, se presenta una figura que contiene la distribución espacial de la variable y un gráfico de torta que agrupa el número de zonas censales dentro de cada categoría por indicador.

1. Cobertura de bomberos

A partir de la Figura 16 se puede ver que, las zonas censales con mayor cobertura de bomberos se concentran en la zona centro de la comuna en 2002 y en las zonas centro y norponiente en 2017 (sectores 4 y 5 del PLADECO, ver Figura 2). Contrariamente, las zonas censales con menor cobertura en ambos años se concentraron en el sector suroriente (sector 1 del PLADECO). Con respecto a las zonas censales con menor cobertura de bomberos en 2002 fueron: la 1, la 2, la 8 y la 34, todas con un 0% de la superficie cubierta. Por otro lado, en 2017, la zona censal con menor porcentaje de cobertura de bomberos fue la número 35 con un 0% de la superficie cubierta. Contrariamente, las zonas censales con mayor porcentaje de cobertura en cada año fueron la 15 en 2002, con un 197% y la 16 en 2017, con un 199% de la superficie cubierta (ver Cuadro 22). El promedio de cobertura de bomberos en cada año fue de: 90% en 2002 y de 108% en 2017.

Las categorías que más se vieron modificadas fueron: “muy baja”, “media” y “muy alta”. La categoría “muy alta” aumentó de tres zonas censales (8,8% del total) en 2002 a seis (15,8% del total) en 2017. La categoría “muy baja” disminuyó de cinco zonas censales (14,7% del total) en 2002, a dos (5,3% del total) en 2017. Por último, la categoría “media” mantuvo su predominancia en ambos años, pero aumentó en 2017, pasando de dieciocho zonas censales (52,9% del total) en 2002 a veintitrés (60,5% del total). Se puede afirmar entonces, que mejoró la cobertura de bomberos entre los años 2002 – 2017, especialmente en el sector 5 del PLADECO, por la incorporación de la Octava compañía del Cuerpo de Bomberos de San Bernardo-El Bosque (Municipalidad El Bosque, 2016).

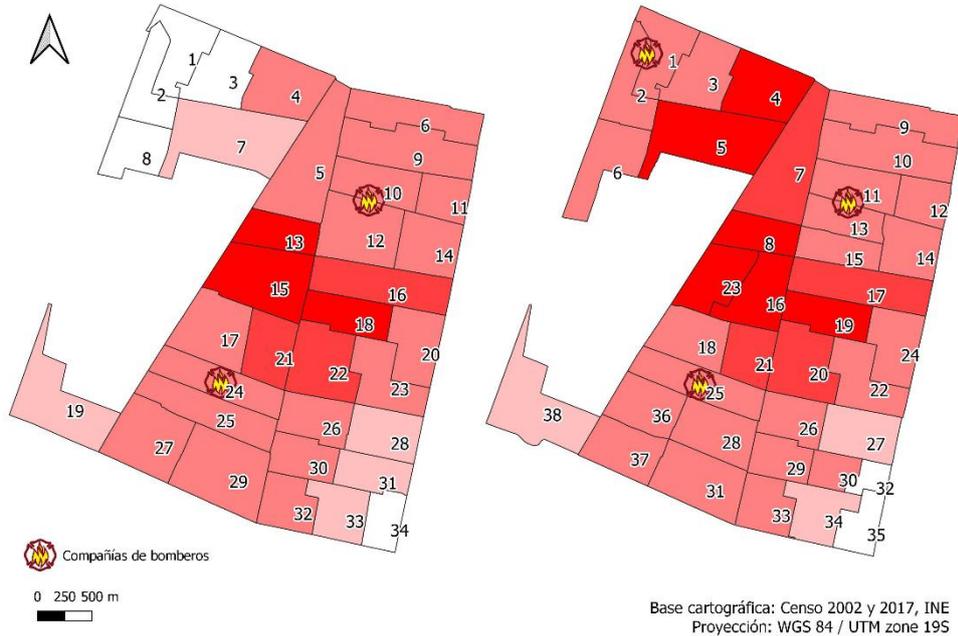
Cuadro 22: Cobertura de bomberos por zona censal

Zona censal	2002	2017	Zona censal	2002	2017
1.	0,00	100,00	21.	140,90	133,30
2.	0,00	100,00	22.	151,30	111,70
3.	10,50	110,90	23.	110,90	179,70
4.	94,00	194,20	24.	100,00	83,80
5.	100,00	167,10	25.	100,00	100,00
6.	100,00	95,20	26.	100,00	100,00
7.	67,10	129,40	27.	100,00	58,40
8.	0,00	179,50	28.	53,50	100,00
9.	100,00	100,00	29.	100,00	100,00
10.	100,00	100,00	30.	100,00	88,90
11.	100,00	100,00	31.	46,00	100,00
12.	105,40	100,00	32.	99,50	0,10
13.	181,80	100,00	33.	42,00	99,40
14.	100,00	100,00	34.	0,00	44,30
15.	197,20	109,80	35.		0,00
16.	135,40	199,10	36.		100,00
17.	107,00	135,20	37.		100,00
18.	191,90	101,10	38.		55,40
19.	58,80	191,40			
20.	81,80	153,80			

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDE, 2022

Cobertura de bomberos por Zona Censal en el año 2002

Cobertura de bomberos por Zona Censal en el año 2017



Porcentaje de la zona censal con acceso a menos de 5 minutos de una o más compañías de bomberos

0.00 - 10.50%	Muy baja
10.50 - 67.10%	Baja
67.10 - 111.70%	Media
111.70 - 153.80%	Alta
153.80 - 199.10%	Muy alta

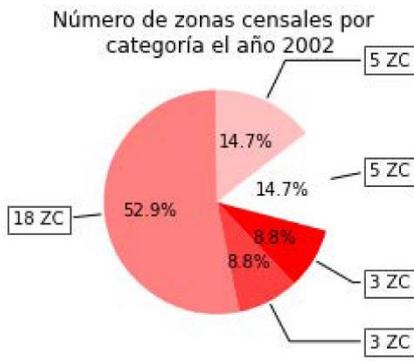


Figura 16: Cobertura de bomberos por zona censal
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDE, 2022

2. Cobertura de carabineros

A partir de la Figura 17 se puede ver que las zonas censales con mayor cobertura de carabineros se encuentran en la zona norponiente (sector 5 PLADECO ver Figura 2) de la comuna en 2002 y en las zonas norponiente, centro y centro oriente (sectores 5, 4 y 2 del PLADECO) de la comuna en 2017. Por otro lado, las zonas censales con menor cobertura en 2002 se concentran en los sectores surponiente, suroriente, nororiente y centro oriente en 2002. En 2017, las zonas surponiente y suroriente mantuvieron esta condición de baja cobertura. En 2002, veintitrés censales se encontraban con 0% de cobertura de carabineros, mientras que, en 2017, sólo las zonas censales 9, 37 y 31 tuvieron un 0% de cobertura. Contrariamente, las zonas censales con mayor porcentaje de cobertura para cada año fueron: la 1, 2, 3 y 8 en 2002, todas con 100% de cobertura. En 2017, la zona censal con mayor porcentaje de cobertura fue la 23, con 185% de la superficie cubierta (ver Cuadro 23). El promedio de cobertura de carabineros en cada año fue de 21% en 2002 y de 78% en 2017.

Las categorías que más se vieron modificadas fueron: “muy baja”, “alta” y “muy alta”. La categoría “muy baja” disminuyó de veinticuatro zonas censales (70,6% del total) en 2002, a ocho (21,1% del total) en 2017. La categoría “alta” aumentó de cinco zonas censales (14,5% del total) en 2002, a veinticuatro (63,2% del total) en 2017. Por último, la categoría muy alta aumentó de cero zonas censales en 2002 a dos (5,3% del total) en 2017. En conjunto, las categorías “media”, “alta” representaban el 20,6% de todas las zonas censales. Las mismas categorías en 2017 representaban el 71,1% del total de las zonas censales. A partir de esto se puede afirmar que mejoró la cobertura de carabineros entre los años 2002 – 2017, debido principalmente a la instalación de la 39° Comisaría El Bosque el año 2003, ubicada en la zona censal 19.

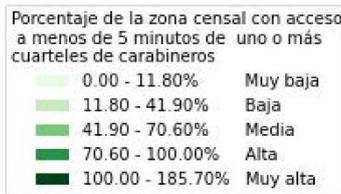
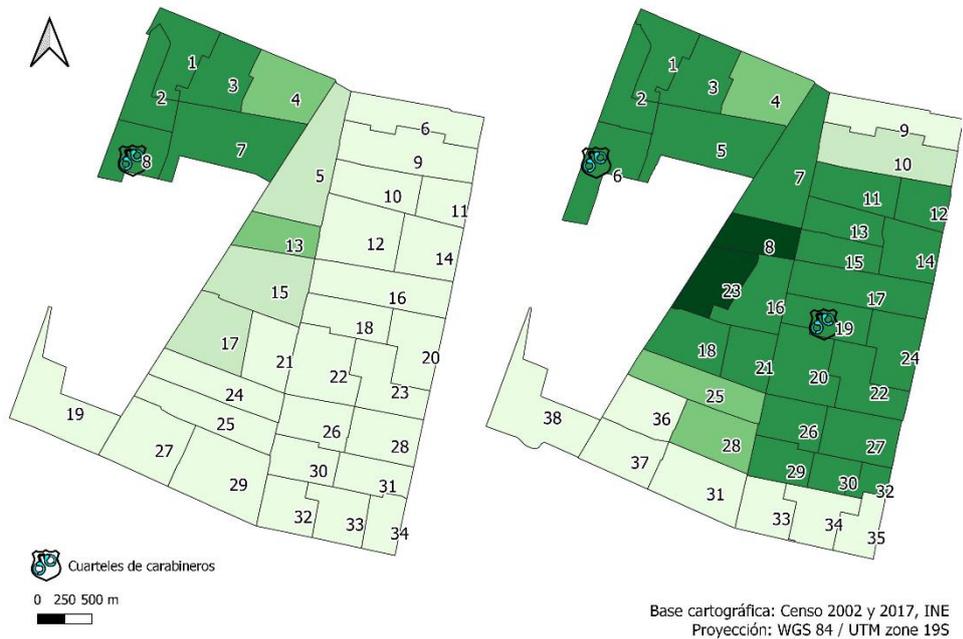
Cuadro 23: Cobertura de carabineros por zona censal

Zona censal	2002	2017	Zona censal	2002	2017
1.	100,00	100,00	21.	0,00	100,00
2.	100,00	100,00	22.	0,00	100,00
3.	100,00	100,00	23.	0,00	185,70
4.	59,20	58,20	24.	0,00	100,00
5.	38,50	100,00	25.	0,00	70,60
6.	0,00	100,00	26.	0,00	100,00
7.	99,80	99,20	27.	0,00	100,00
8.	100,00	163,40	28.	0,00	62,90
9.	0,00	0,00	29.	0,00	99,10
10.	0,00	31,20	30.	0,00	100,00
11.	0,00	100,00	31.	0,00	0,00
12.	0,00	99,30	32.	0,00	96,10
13.	63,40	100,00	33.	0,00	3,30
14.	0,00	100,00	34.	0,00	11,80
15.	41,90	100,00	35.		1,30
16.	0,00	100,00	36.		0,70
17.	18,60	100,00	37.		0,00
18.	0,00	97,70	38.		0,30
19.	0,30	100,00			
20.	0,00	100,00			

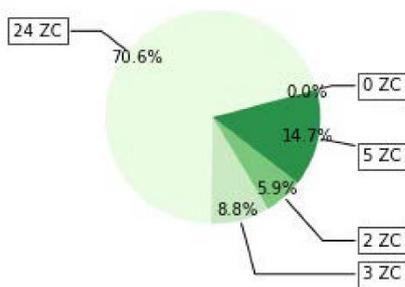
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDE, 2022

Cobertura de carabineros por Zona Censal en el año 2002

Cobertura de carabineros por Zona Censal en el año 2017



Número de zonas censales por categoría el año 2002



Número de zonas censales por categoría el año 2017

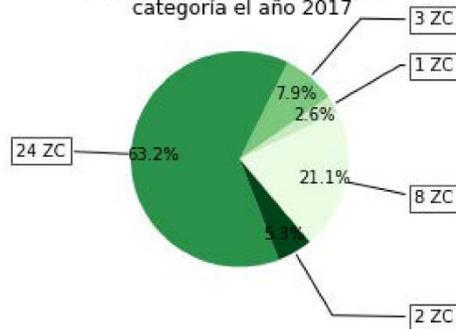


Figura 17: Cobertura de carabineros por zona censal
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDE, 2022

3. Cobertura de salud pública

A partir de la Figura 18 se puede identificar que las zonas censales con mayor cobertura de servicios de salud se concentran en el centro de la comuna (sector 4 PLADECO ver Figura 2), tanto en 2002 como en 2017. Contrariamente, las zonas censales con menor cobertura de indicador se distribuyen por las periferias de la comuna, excepto en 2017, donde la zona centro norte también posee una concentración importante de zonas censales con altos valores para el indicador. Las zonas censales con menor cobertura de salud en cada año fueron: la 19 con un 28,3% de cobertura en 2002, y la 38 con un 25,6% de cobertura en 2017. Por otro lado, las zonas censales con mayor cobertura de salud fueron: la 13 con un 316% de cobertura en 2002, y la 8 con un 674% de cobertura en 2017 (ver Cuadro 24). El promedio del indicador en cada año fue de 220% en 2002 y de 447% en 2017.

Las categorías que más se vieron modificadas fueron: “baja”, “alta” y “muy alta”. La categoría “baja” disminuyó desde veinte zonas censales (58,8% del total) en 2002, a una (2,6% del total) en 2017. La categoría “alta” aumentó desde dos zonas censales (5,9% del total) en 2002 a diecisiete (44,7% del total) en 2017. Por último, la categoría “muy alta” pasó de no estar representada por ninguna zona censal en 2002, a catorce zonas censales (36,8% del total) en 2017. Cabe destacar que, en su conjunto, las categorías “muy baja”, “baja” y “media” representaban el 94% de las zonas censales en 2002, mientras que las mismas categorías en 2017, juntas representaban solo el 18,4% del total de las zonas censales. A partir de esto se puede afirmar que hubo un aumento en la cobertura de salud, dada por la aparición de cinco nuevos centros de salud, ubicados principalmente en las zonas norte, centro y suroriente de la comuna.

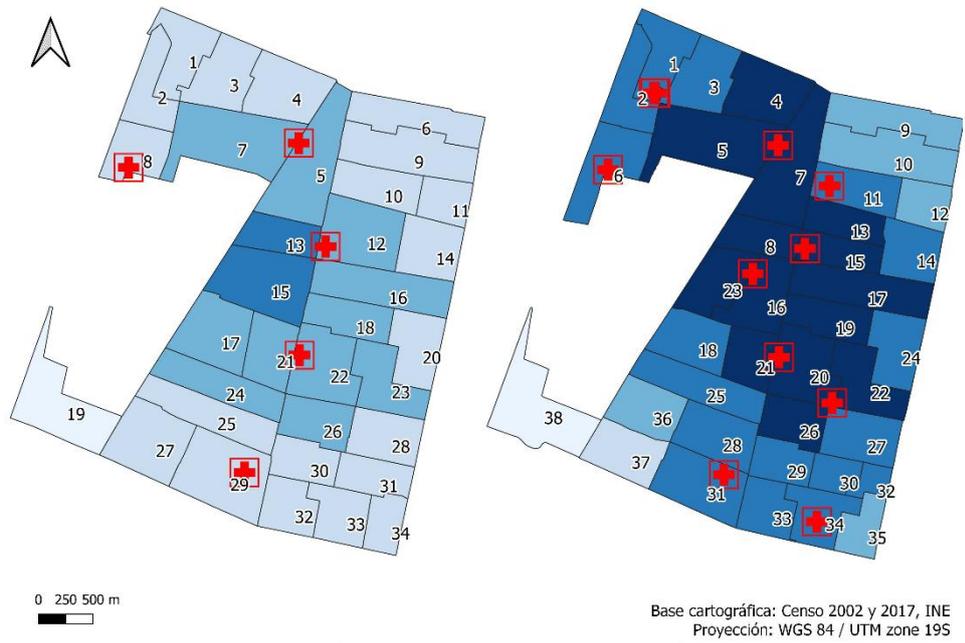
Cuadro 24: Cobertura de salud por zona censal

Zona censal	2002	2017	Zona censal	2002	2017
1.	188,90	390,60	21.	300,00	560,00
2.	184,50	384,60	22.	299,90	516,30
3.	205,30	470,10	23.	241,30	640,40
4.	217,00	545,50	24.	240,10	444,20
5.	271,50	656,90	25.	200,00	470,30
6.	166,60	374,70	26.	242,40	535,70
7.	279,20	630,00	27.	149,80	413,50
8.	168,70	674,50	28.	198,10	461,40
9.	196,10	269,40	29.	195,50	410,80
10.	213,10	338,30	30.	200,00	400,00
11.	183,80	413,70	31.	198,70	375,60
12.	299,60	305,60	32.	190,20	399,10
13.	361,50	520,10	33.	164,60	388,90
14.	218,90	445,50	34.	116,10	370,40
15.	355,90	599,40	35.		311,00
16.	255,80	616,20	36.		285,00
17.	314,70	552,50	37.		144,20
18.	241,80	490,50	38.		25,60
19.	28,30	541,60			
20.	199,30	608,40			

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDE, 2022

Cobertura de salud pública por Zona Censal en el año 2002

Cobertura de salud pública por Zona Censal en el año 2017



Porcentaje de la zona censal con acceso a menos de 5 minutos de uno o más centros de salud

25.60 - 28.30%	Muy baja
28.30 - 218.90%	Baja
218.90 - 338.30%	Media
338.30 - 490.50%	Alta
490.50 - 674.50%	Muy alta



Figura 18: Cobertura de salud por zona censal
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDE, 2022

Indicadores de Planificación Institucional

En el Cuadro 25 se presentan los resultados del índice de Planificación Institucional, en la cual se constata la presencia o ausencia de los instrumentos que componen los indicadores en cada año de evaluación.

En el siguiente cuadro se puede ver que para el año 2002, los únicos indicadores de planificación institucional presentes fueron el Plan regulador comunal y la Ordenanza de participación ciudadana. Por otro lado, para el año 2017, el municipio además de contar con los indicadores mencionados anteriormente contaba con cuatro más. El grupo de “participación ciudadana” fue el que más se vio reforzado entre los años 2002 – 2017, pasando de solo un indicador presente en 2002 a cuatro en 2017. Por otro lado, el eje de “diagnóstico y levantamiento de información” tuvo pocos cambios, pasando de ningún indicador presente en 2002 a sólo uno en 2017. Este último eje es particularmente importante para la prevención de los riesgos que han de venir con los eventos de calor extremo, ya que permite anticiparse y desarrollar estrategias que permitan mitigar los impactos en la salud de la población. Además, en este eje se debe reconocer la presencia del peligro de las olas de calor en la comuna, de manera que se pueda abordar en la planificación territorial como medida preventiva (GIZ, 2017). Por último, el eje de “planificación territorial” mantuvo su condición.

Al aplicar la ecuación de mínimos y máximos se obtuvieron los resultados finales para el índice de planificación institucional. Los resultados finales de planificación institucional fueron: 0,2 el año 2002 y 0,6 el año 2017. A partir de estos valores se puede constatar una mejora en el índice de Planificación institucional entre los años 2002 – 2017.

Cuadro 25: Indicadores de Planificación institucional

Grupo o eje	Indicador	2002	2017
Planificación territorial	Municipio cuenta plan regulador comunal actualizado	✓	✓
Diagnóstico y levantamiento de información	Municipio cuenta con Sistema de Certificación Ambiental Municipal (SCAM)	✗	✗
	Municipio cuenta con Estrategia de Comunicación de Cambio Climático (ECC)	✗	✗
	Ejecución de proyectos financiados por Programa de prevención y mitigación de riesgos (PREMIR)	✗	✗
	Municipio cuenta con Perfil Climático Municipal (PCM) actualizado	✗	✗
	Planificación de seguridad pública en situaciones de emergencias	✗	✓
Participación ciudadana	Municipio cuenta con ordenanza de participación ciudadana	✓	✓
	Municipio cuenta con consejo comunal de la sociedad civil constituido	✗	✓
	Municipio cuenta con comité ambiental municipal constituido	✗	✓
	Municipio cuenta con comité ambiental comunal constituido	✗	✓
TOTAL	-	2	6

Fuente: Elaboración propia a partir de los documentos señalados, 2022

Indicador de Exposición

1. Total de personas por zona censal

A partir de la Figura 19 se puede ver que las zonas censales con mayor población se encuentran distribuidas sin patrones evidentes alrededor de la comuna. En 2002, las zonas censales con mayor población se ubicaban en los sectores centro, centro-sur y suroriente (sectores 4, 6 y 1 del PLADECO, ver Figura 2) mientras que, en 2017, las zonas censales con mayor población se ubicaban más dispersas en la comuna, sin concentrarse en un sector en particular. Las zonas censales con menor población se ubican en los sectores centro y norte de la comuna para ambos años. Sin embargo, también se hace difícil identificar concentraciones evidentes de zonas censales con baja población, debido a su distribución heterogénea en la comuna. Llama la atención que la cantidad de personas no guarda relación directa con la superficie de la comuna.

Las zonas censales con menor número de personas en cada año fueron: la 8 con 1.768 personas en 2017 y la 13 con 1.860 personas en 2002. Por otro lado, las zonas censales con número de personas fueron: la 31 con 8.618 personas en 2002, y la 6 con 7.053 personas en 2017 (ver Cuadro 26). El promedio del indicador en cada año fue de 5.097 en 2002 y 4.260 en 2017.

Las categorías que más se vieron modificadas fueron la “baja”, “alta” y “muy alta”. La categoría “baja” aumentó de cuatro zonas censales (11,8% del total) en 2002 a trece zonas censales (34,2% del total) en 2017. La categoría “alta” disminuyó de 13 zonas censales (38,2% del total) en 2002 a seis (15,8% del total) en 2017. Por último, la categoría “muy alta” disminuyó de cuatro zonas censales (11,8% del total) en 2002 a una zona censal (2,6% del total) en 2017. A partir de estos resultados se evidencia una disminución de la población en la comuna entre los años 2002 – 2017.

Cuadro 26: Número de personas por zona censal

Zona censal	2002	2017	Zona censal	2002	2017
1.	4.458	3.650	21.	5.824	4.352
2.	3.090	2.852	22.	5.691	5.166
3.	4.702	4.702	23.	5.915	3.027
4.	3.179	3.333	24.	3.100	4.648
5.	3.916	5.693	25.	6.444	2.762
6.	3.865	7.053	26.	4.822	4.616
7.	5.314	3.682	27.	5.967	3.901
8.	4.910	1.768	28.	4.870	5.442
9.	5.791	3.448	29.	7.591	4.551
10.	2.875	5.058	30.	5.256	4.283
11.	3.420	2.557	31.	8.618	4.957
12.	8.244	2.862	32.	6.109	3.630
13.	1.860	4.052	33.	5.982	5.091
14.	4.584	4.140	34.	7.357	6.389
15.	5.518	3.977	35.		5.573
16.	4.753	3.935	36.		3.636
17.	6.080	4.275	37.		4.696
18.	4.476	5.386	38.		3.495
19.	3.483	3.975			
20.	5.258	5.277			

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE, 2022

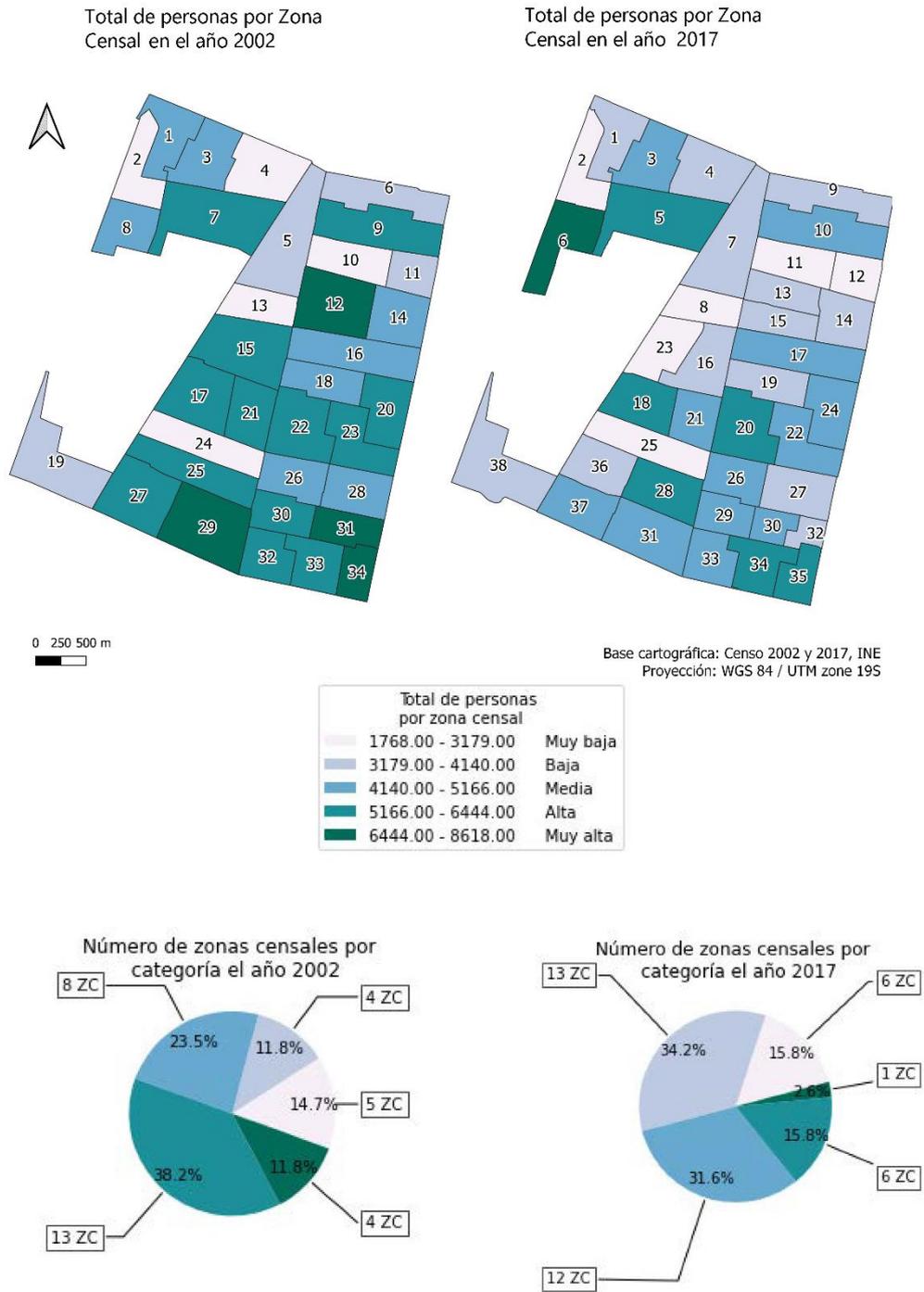


Figura 19: Número de personas por zona censal
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE, 2022

Resultados de los índices: Peligro, Sensibilidad, Capacidad de Respuesta, Vulnerabilidad, Exposición y Riesgo.

A continuación, se presentan los resultados definitivos de todos los índices que componen el riesgo, así como el riesgo final.

1. Peligro

Como resultado de evaluación, se obtuvieron los valores finales de peligro para cada año. Estos fueron: 0,42 el año 2002 y 0,82 el año 2017. A partir de estos datos se evidencia de un aumento en el nivel de peligro durante el período estudiado, causado por el aumento en todos los indicadores que componen este índice. El aumento en los fenómenos de olas de calor en el período 2002 - 2017 coincide con el aumento en el promedio anual de temperaturas existente en cada año, el cual pasó de 22,51 °C en 2002 a 23,55 °C en 2017. Este aumento de temperaturas también coincide de manera parcial con los aumentos experimentados tanto a nivel nacional como mundial. A lo largo del territorio nacional, Chile también registró cambios en sus mediciones del clima, con un aumento progresivo y constante en las temperaturas desde 2011 y una concentración de los 10 años más cálidos desde 1961 en el período 2003 – 2020, a excepción de 1997 que también figura dentro de esta lista. Por su parte, el año 2017 ocupa el quinto lugar en el ranking de los años más cálidos desde 1961 (Dirección meteorológica de Chile, 2021). En el capítulo de bases físicas del quinto informe de evaluación del IPCC, se expone que temperatura media mundial en el período 1880 - 2012, tuvo un incremento de 0,85 °C (Camino et al., 2014), mientras que, reportes más actuales, como el reporte del Grupo de Trabajo I del IPCC, Cambio Climático 2021: Bases físicas, hablan sobre incrementos de 1.1 °C desde 1850-1900 (IPCC, 2021).

2. Sensibilidad

En la Figura 20 se pueden ver los resultados del índice de sensibilidad. A simple vista, se puede identificar que las zonas censales con mayores índices de sensibilidad se concentran en los sectores 1 y 2 del PLADECOC (Figura 2) en ambos años. Por otro lado, en 2002, el sector que concentraba las zonas censales con menores valores de sensibilidad fue el sector 6 del PLADECOC, mientras que, en 2017, las zonas censales con menos valores se ubicaron dispersas entre los sectores 2, 3 y 4. La zona censal con mayor valor en 2002 fue la 34, y en 2017, la 32. Por otro lado, las zonas censales con menores valores en cada año fueron la 27 en 2002 y la 17 en 2017 (ver Cuadro 27). El promedio del índice de sensibilidad en cada año fue de 0,50 en 2002 y 0,52 en 2017.

Las categorías que más se vieron modificadas fueron: la “muy baja”, “baja” y “media”. La categoría “muy baja” disminuyó de dos zonas censales en 2002 (5,9% del total) a cero en 2017. La categoría “baja” disminuyó de doce zonas censales en 2002 (35,3% del total) a tres en 2017 (7,9% del total). Por último, la categoría “media” aumentó de ocho zonas censales en 2002 (23,5% del total) a veintitrés zonas censales en 2017 (60,5% del total). La disminución de zonas censales en las categorías bajas y el aumento en las categorías altas evidencia un aumento en el índice de sensibilidad entre los años 2002 – 2017.

En 2002, las zonas censales 31 y 34 tuvieron los valores más altos en el índice de sensibilidad, y a su vez estuvieron dentro de la categoría “muy alta” (o “muy baja” en el caso de la materialidad aceptable y el índice SAVI) en cuatro indicadores (40% de los indicadores de sensibilidad): densidad poblacional, trabajadores al aire libre (solo la 34), personas con reducida escolaridad (solo la 34) y viviendas con hacinamiento. Contrariamente, las zonas censales 19 y 27 que tuvieron los valores más bajos en el índice de sensibilidad en 2002, estuvieron dentro de la categoría “muy baja” (o “muy alta” en el caso de la materialidad aceptable y el promedio del índice SAVI) en siete indicadores (70% de los indicadores de sensibilidad): mayores de 65 años (solo la 27), densidad poblacional (solo la 19), trabajadores al aire libre, personas con reducida escolaridad, adultos mayores solos, viviendas con materialidad aceptable (solo la 27) y el promedio del índice SAVI.

En 2017, las zonas censales 30 y 32 tuvieron los valores más altos en el índice de sensibilidad, y a su vez estuvieron dentro de la categoría “muy alta” (o “muy baja” en el caso de la materialidad aceptable y el índice SAVI) en cinco indicadores (50% de los indicadores de sensibilidad): densidad poblacional (solo la 30), menores de 5 años, trabajadores al aire libre, personas con reducida escolaridad (solo 32) y promedio del índice SAVI. Contrariamente, las zonas censales 17 y 7 que tuvieron los valores más bajos en el índice de sensibilidad, estuvieron dentro de la categoría “muy baja” (o “muy alta” en el caso de la materialidad aceptable y el promedio del índice SAVI) en cinco indicadores (50% de los indicadores de sensibilidad): densidad poblacional, menores de 5 años (solo la 17), trabajadores al aire libre (solo la 7), personas con reducida escolaridad (solo la 7) y viviendas con hacinamiento (solo la 7).

Un patrón reconocible a partir de este último análisis es que los indicadores: densidad poblacional, trabajadores al aire libre y baja escolaridad estuvieron presentes en todos los casos planteados en el párrafo anterior. A partir de esto se podría inferir, que dichos indicadores son especialmente relevantes para el cálculo de la sensibilidad, y, que condicionaron fuertemente los valores extremos de este índice.

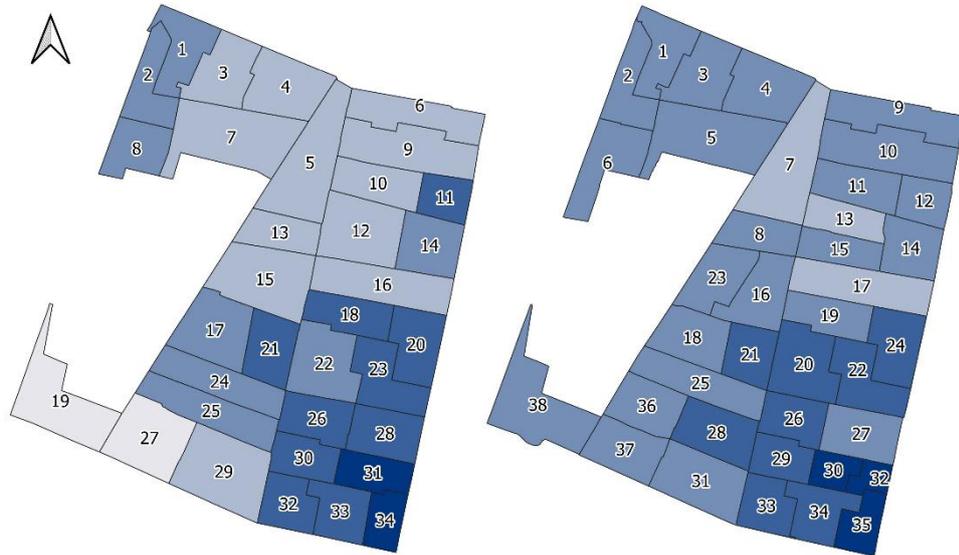
Cuadro 27: Índice de Sensibilidad

Zona censal	2002	2017	Zona censal	2002	2017
1.	0,51	0,50	21.	0,52	0,52
2.	0,49	0,50	22.	0,51	0,52
3.	0,48	0,50	23.	0,53	0,51
4.	0,47	0,50	24.	0,50	0,52
5.	0,46	0,50	25.	0,51	0,50
6.	0,47	0,51	26.	0,52	0,53
7.	0,46	0,48	27.	0,38	0,50
8.	0,51	0,50	28.	0,51	0,53
9.	0,47	0,50	29.	0,48	0,54
10.	0,45	0,50	30.	0,54	0,63
11.	0,52	0,49	31.	0,59	0,49
12.	0,44	0,51	32.	0,54	0,70
13.	0,47	0,48	33.	0,54	0,54
14.	0,49	0,51	34.	0,60	0,56
15.	0,48	0,51	35.		0,60
16.	0,47	0,51	36.		0,50
17.	0,49	0,48	37.		0,50
18.	0,52	0,50	38.		0,49
19.	0,39	0,51			
20.	0,51	0,52			

Fuente: Elaboración propia, 2022

Índice de sensibilidad por Zona Censal en el año 2002

Índice de sensibilidad por Zona Censal en el año 2017



Base cartográfica: Censo 2002 y 2017, INE
Proyección: WGS 84 / UTM zone 19S

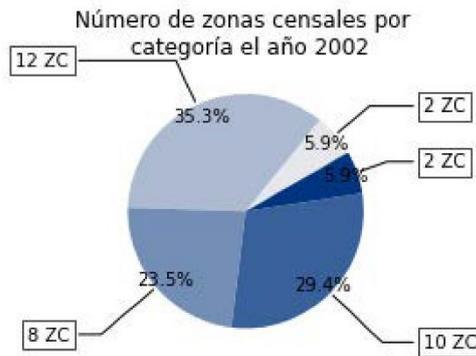
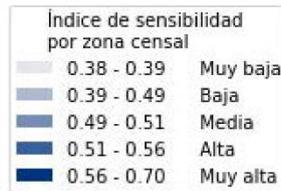


Figura 20: Índice de Sensibilidad
Fuente: Elaboración propia, 2022

3. Capacidad de respuesta

En la Figura 21 se pueden ver los resultados del índice capacidad de respuesta. A simple vista se puede identificar que las zonas censales con mayores índices de capacidad de respuesta se concentran en el sector 4 del PLADECO (Figura 2) en 2002, y en los sectores 2, 4 y 5 en 2017. Por otro lado, en 2002, el sector que concentraba las zonas censales con menores valores de capacidad de respuesta fue es sector 6 del PLADECO, mientras que, en 2017, las zonas censales con menos valores se ubicaron dispersas entre los sectores 6, 3 y 1. La zona censal con mayor valor en 2002 fue la 13, y en 2017, la 23. Por otro lado, las zonas censales con menores valores en cada año fueron la 19 en 2002 y la 38 en 2017. El promedio del índice de capacidad de respuesta en cada año fue de 0,33 en 2002 y 0,54 en 2017.

Todas las categorías se vieron fuertemente modificadas. En 2002, las categorías “muy baja”, “baja” y “media” albergaban en conjunto, el 100% de las zonas censales. Las mismas categorías en 2017 solo alcanzaron en 26,3% del total de las zonas censales. El aumento tan brusco en los valores del índice de capacidad de respuesta se debe a la mejora de ambos componentes este índice: planificación territorial y equipamiento social. Todos los elementos que componen el índice de equipamiento social mejoraron, aumentando en al menos un establecimiento entre los años 2002 – 2017. Destaca el caso del equipamiento de salud, que se fortaleció con 5 centros nuevos. Llama la atención, la baja concentración de establecimientos de emergencias en el sector uno del PLADECO, que no contaba con la presencia de ningún establecimiento en 2002, y solo uno en 2017. Contrariamente, el sector 5 del PLADECO, contaba con 2 establecimientos en 2002, número que aumentó a 5 establecimientos en 2017. Por otro lado, las mejoras en la planificación territorial de la comuna van de la mano con los requisitos para obtener las certificaciones “básica” e “intermedia” en el SCAM (MMA, 2017). A pesar de no encontrarse registrado el municipio al 2017, posteriormente en 2019 alcanza el nivel intermedio.

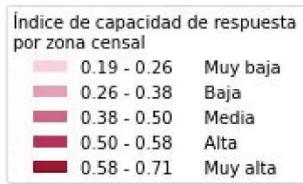
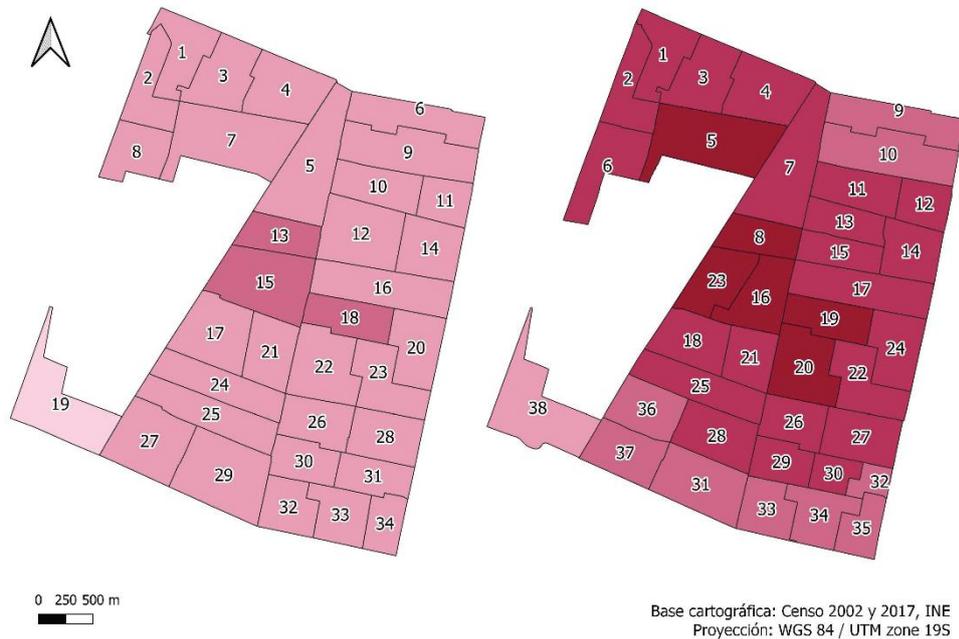
Cuadro 28: Índice de Capacidad de Respuesta

Zona censal	2002	2017	Zona censal	2002	2017
1.	0,33	0,54	21.	0,37	0,58
2.	0,33	0,54	22.	0,37	0,56
3.	0,34	0,56	23.	0,35	0,71
4.	0,36	0,58	24.	0,34	0,54
5.	0,36	0,63	25.	0,33	0,53
6.	0,32	0,53	26.	0,34	0,56
7.	0,38	0,58	27.	0,31	0,52
8.	0,32	0,69	28.	0,30	0,53
9.	0,33	0,48	29.	0,33	0,54
10.	0,33	0,49	30.	0,33	0,53
11.	0,32	0,54	31.	0,30	0,49
12.	0,36	0,52	32.	0,32	0,50
13.	0,42	0,56	33.	0,29	0,50
14.	0,33	0,55	34.	0,26	0,50
15.	0,41	0,57	35.		0,48
16.	0,37	0,67	36.		0,48
17.	0,36	0,58	37.		0,44
18.	0,38	0,55	38.		0,32
19.	0,19	0,61			
20.	0,32	0,60			

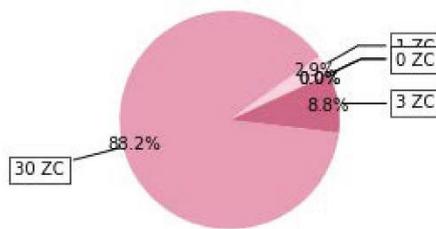
Fuente: Elaboración propia, 2022

Índice de capacidad de respuesta por Zona Censal en el año 2002

Índice de capacidad de respuesta por Zona Censal en el año 2017



Número de zonas censales por categoría el año 2002



Número de zonas censales por categoría el año 2017

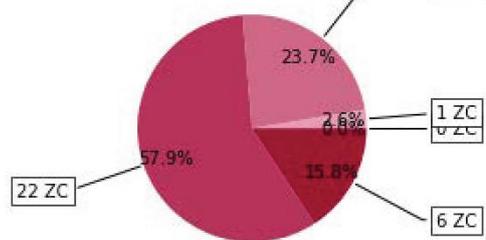


Figura 21: Índice de Capacidad de Respuesta
Fuente: Elaboración propia, 2022

4. Vulnerabilidad

En la Figura 22 se pueden ver los resultados del índice de vulnerabilidad, compuesto por los índices de capacidad de respuesta y el índice de sensibilidad. A simple vista, se puede identificar que las zonas censales con mayores valores en el índice de vulnerabilidad se concentran en el sector 1 del PLADECO (Figura 2) tanto en 2002, como en 2017. Por otro lado, en 2002, el sector que concentraba las zonas censales con menores valores de vulnerabilidad fue el sector 6, mientras que, en 2017, las zonas censales con menos valores se ubicaron en el sector 4. Queda en evidencia gráfica la influencia de los índices de capacidad de respuesta y de sensibilidad en este mapa. Destaca en ambos años, los bajos valores de vulnerabilidad en el sector 4, provenientes del alto valor que tiene este sector en la capacidad de respuesta. Asimismo, sucede con el sector 1, que posee los valores más altos en el índice de sensibilidad tanto en 2002 como en 2017. La zona censal con mayor valor en 2002 fue la 34, y en 2017, la 32. Por otro lado, las zonas censales con menores valores en cada año fueron la 27 en 2002 y las zonas 7 y 8 en 2017 (ver). El promedio del índice de vulnerabilidad en cada año fue de 0,44 en 2002 y 0,45 en 2017.

La categoría que más se vio modificada entre los años de evaluación fue la “media”, que aumentó de nueve zonas censales en 2002 (25,5% del total) a veinticuatro zonas censales en 2017 (63,2% del total). Se evidencia una disminución en las categorías “baja” y “muy baja”, que en conjunto sumaban catorce zonas censales en 2002 (41,1% del total) a ocho zonas censales en 2017 (21,1% del total). Por otro lado, las categorías “alta” y “muy alta” experimentaron una disminución, pasando de once zonas censales en 2002 (32,4% del total) a seis zonas censales en 2017 (15,8% del total). Dado que, todas las categorías, salvo la “media” disminuyeron sus valores, nos basamos en el promedio comunal del índice de vulnerabilidad para afirmar que, el año 2002, la vulnerabilidad fue ligeramente menor que en 2017. Esta situación se debe a que, tanto la sensibilidad como la capacidad de respuesta aumentaron, y ya que, ambos índices son opuestos en la conformación del índice de vulnerabilidad, los valores de este último se mantuvieron estables entre los años 2002 – 2017.

Cuadro 29: Índice de Vulnerabilidad

Zona censal	2002	2017	Zona censal	2002	2017
1.	0,46	0,44	21.	0,48	0,45
2.	0,43	0,45	22.	0,46	0,45
3.	0,41	0,43	23.	0,49	0,42
4.	0,41	0,43	24.	0,45	0,46
5.	0,40	0,42	25.	0,47	0,45
6.	0,41	0,46	26.	0,48	0,46
7.	0,39	0,41	27.	0,17	0,45
8.	0,46	0,41	28.	0,47	0,47
9.	0,40	0,46	29.	0,41	0,47
10.	0,37	0,46	30.	0,51	0,52
11.	0,48	0,43	31.	0,57	0,44
12.	0,36	0,45	32.	0,51	0,54
13.	0,41	0,42	33.	0,51	0,48
14.	0,44	0,45	34.	0,59	0,50
15.	0,41	0,44	35.		0,52
16.	0,40	0,42	36.		0,46
17.	0,44	0,41	37.		0,45
18.	0,48	0,44	38.		0,43
19.	0,20	0,43			
20.	0,48	0,44			

Fuente: Elaboración propia, 2022

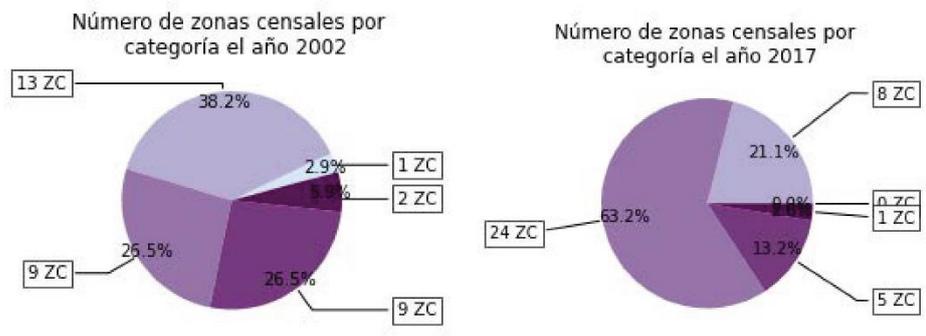
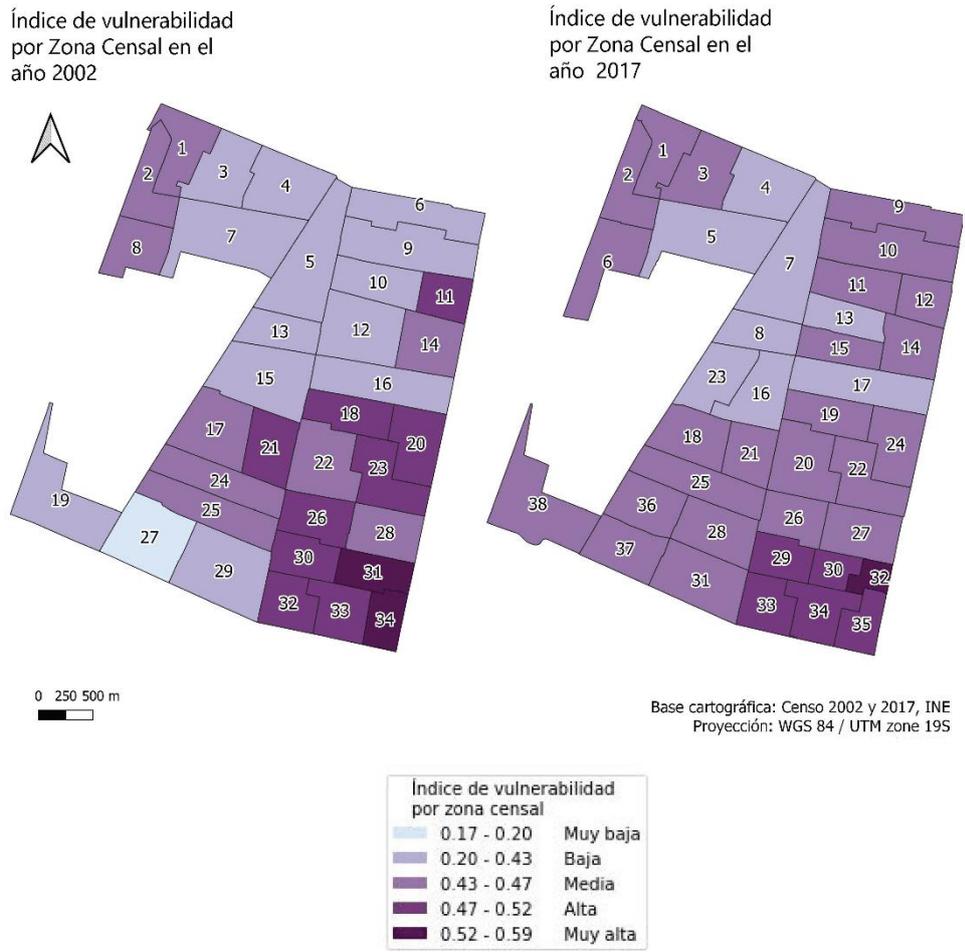


Figura 22: Índice de Vulnerabilidad
Fuente: Elaboración propia, 2022

5. Exposición

En la Figura 23 se pueden ver los resultados de exposición. A simple vista, se puede identificar que, en 2002, las zonas censales con mayores índices de exposición se concentran en los sectores 1, 3 y 6 del PLADECO (Figura 2). En 2017, el sector 5 contuvo la zona censal con mayor exposición. Por otro lado, tanto en 2002 como en 2017, las zonas censales con menores valores estuvieron dispersas en los sectores 3, 4, 5 y 6. Los máximos valores se encontraron en 2002 y los mínimos en 2017. La zona censal con mayor valor en 2002 fue la 31, y la 6 en 2017. Por otro lado, las zonas censales con menores valores en cada año fueron la 13 en 2002 y la 8 en 2017 (ver Cuadro 30). El promedio del índice de exposición en cada año fue de 0,51 en 2002 y 0,47 en 2017.

En ambos años, la categoría dominante fue la “media”, con veintidós zonas censales en 2002 (64,7% del total) y veintiocho zonas censales en 2017 (73,7% del total). La categoría “muy baja” no estuvo representada en 2002, y en 2017 solo hubo una zona censal dentro de esta categoría. Por otro lado, la categoría “muy alta” solo estuvo representada en 2002, en tres zonas censales. La categoría “alta” disminuyó de dos zonas censales en 2002 (5,9% del total) a una en 2017 (2,6% del total). Por último, la categoría “baja” aumento levemente, pasando de siete zonas censales en 2002 (20,6% del total), a ocho zonas censales en 2017 (21,1% del total). A partir de estos datos, se evidencia una disminución en el índice de exposición.

Cuadro 30: Índice de Exposición

Zona censal	2002	2017	Zona censal	2002	2017
1.	0,50	0,47	21.	0,52	0,50
2.	0,43	0,40	22.	0,52	0,51
3.	0,50	0,50	23.	0,53	0,42
4.	0,44	0,45	24.	0,43	0,50
5.	0,48	0,52	25.	0,55	0,39
6.	0,48	0,59	26.	0,50	0,50
7.	0,51	0,47	27.	0,53	0,48
8.	0,50	0,17	28.	0,50	0,51
9.	0,52	0,46	29.	0,64	0,50
10.	0,41	0,50	30.	0,51	0,49
11.	0,46	0,36	31.	0,83	0,50
12.	0,75	0,40	32.	0,53	0,47
13.	0,20	0,49	33.	0,53	0,51
14.	0,50	0,49	34.	0,62	0,55
15.	0,51	0,49	35.		0,51
16.	0,50	0,48	36.		0,47
17.	0,53	0,49	37.		0,50
18.	0,50	0,51	38.		0,46
19.	0,46	0,49			
20.	0,51	0,51			

Fuente: Elaboración propia, 2022

Índice de exposición por Zona Censal en el año 2002

Índice de exposición por Zona Censal en el año 2017

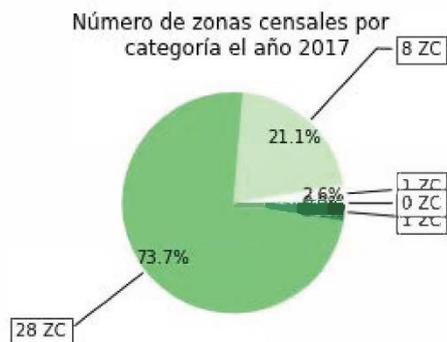
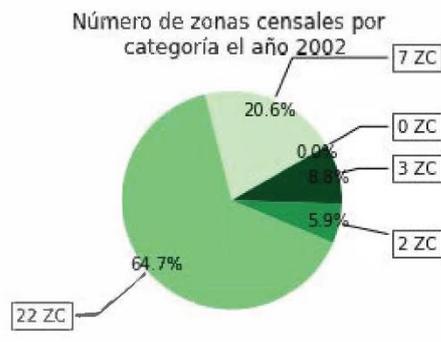
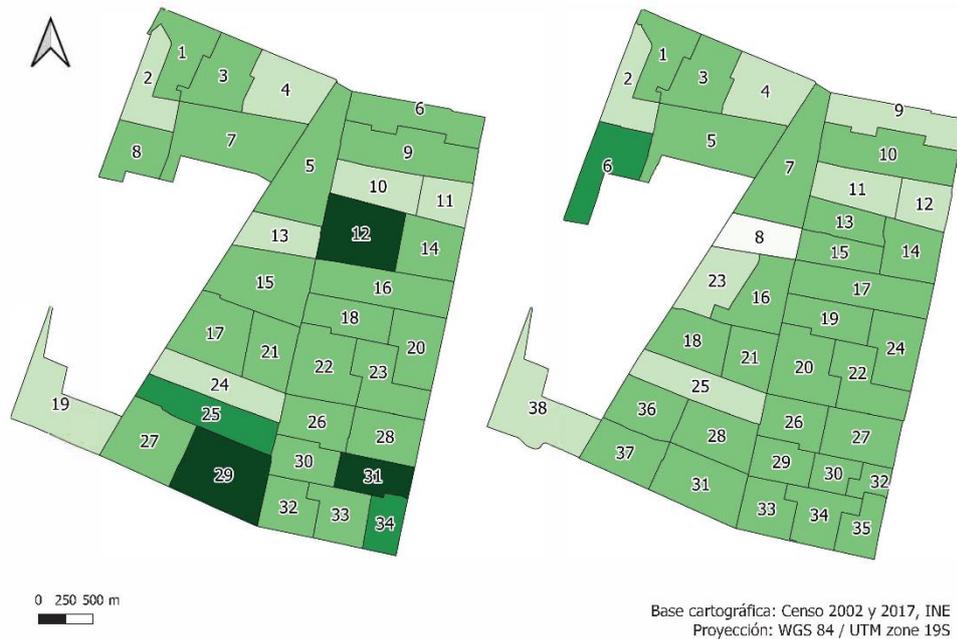


Figura 23: Índice de Exposición
Fuente: Elaboración propia, 2022

6. Riesgo

En la Figura 24 se pueden ver los resultados de riesgo, compuesto por los índices de vulnerabilidad, exposición y peligro. A simple vista se puede identificar que, tanto en 2002 como en 2017, las zonas censales con mayor valor en el índice de riesgo se encuentran en el sector 1 del PLADECOC (Figura 2). Contrariamente, las zonas censales con menores valores para el índice se encuentran en el sector 6 en 2002, y en el sector 4 en 2017. La zona censal con mayor valor en 2002 fue la 34, y la 32 en 2017. Por otro lado, las zonas censales con menores valores en cada año fueron la 27 en 2002 y la 8 en 2017 (ver Cuadro 31). El promedio del índice de riesgo en cada año fue de 0,432 en 2002 y 0,503 en 2017.

Todas las categorías se vieron fuertemente modificadas. Las categorías “muy baja” y “baja” pasaron de sumar quince zonas censales (44,5% del total) a cero zonas censales. La categoría “media” disminuyó de catorce zonas censales en 2002 a nueve zonas censales en 2017. Por último, las categorías “alta” y “muy alta” pasaron de sumar cinco zonas censales en 2002 (14,7% del total) a 29 zonas censales en 2017 (76,2% del total). A partir de la disminución de las categorías bajas y el aumento de las categorías altas, se evidencia un aumento del índice de riesgo entre los años 2002 – 2017.

En 2002, las zonas censales 31 y 34 tuvieron los valores más altos en el índice de riesgo. Ambas estuvieron dentro de la categoría “muy alta” en el índice de vulnerabilidad y solo la 31 estuvo dentro de esta categoría en el índice de exposición. Contrariamente, de las zonas censales 19 y 24 que tuvieron los valores más bajos en el índice de riesgo en 2002, solo la 27 estuvo dentro de la categoría “muy baja” en el índice de vulnerabilidad, y ninguna se encontró dentro de dicha categoría en el índice de exposición. En 2017, las zonas censales 35 y 32 tuvieron los valores más altos en el índice de riesgo, sin embargo, solo la 32 estuvo dentro de la categoría “muy alta” en el índice de vulnerabilidad, y ninguna se encontró dentro de dicha categoría en el índice de exposición. Por otro lado, de las zonas censales 7 y 8 que tuvieron los menores valores en el índice de riesgo en 2017, solo la 8 estuvo dentro de la categoría “muy baja” en el índice de exposición, y ninguna se encontró dentro de esta categoría en el índice de vulnerabilidad. A partir de este análisis se puede concluir que las zonas censales con valores extremos en el índice de riesgo estuvieron parcialmente dentro de los extremos de los índices que componen al riesgo, pero no hubo un patrón reconocible para todos los casos.

Finalmente, de los tres índices que componen el riesgo, el peligro fue el principal causante del aumento del riesgo en 2017, ya que, la exposición fue mayor en 2002 y la vulnerabilidad fue prácticamente igual en ambos años.

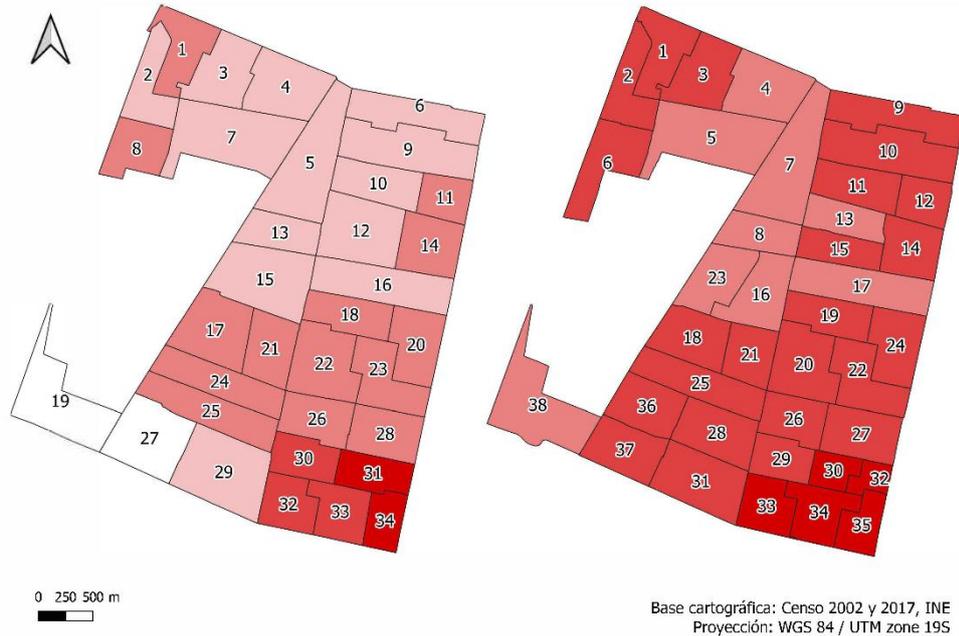
Cuadro 31: Índice de Riesgo

Zona censal	2002	2017	Zona censal	2002	2017
1.	0,46	0,50	21.	0,48	0,50
2.	0,43	0,50	22.	0,46	0,51
3.	0,42	0,49	23.	0,48	0,47
4.	0,41	0,48	24.	0,45	0,51
5.	0,40	0,48	25.	0,46	0,50
6.	0,41	0,51	26.	0,47	0,51
7.	0,40	0,47	27.	0,22	0,50
8.	0,46	0,46	28.	0,46	0,52
9.	0,41	0,51	29.	0,42	0,52
10.	0,38	0,51	30.	0,50	0,56
11.	0,47	0,49	31.	0,56	0,50
12.	0,38	0,50	32.	0,50	0,58
13.	0,41	0,48	33.	0,50	0,53
14.	0,44	0,50	34.	0,57	0,54
15.	0,42	0,50	35.		0,57
16.	0,41	0,48	36.		0,51
17.	0,44	0,47	37.		0,51
18.	0,47	0,50	38.		0,48
19.	0,24	0,49			
20.	0,48	0,50			

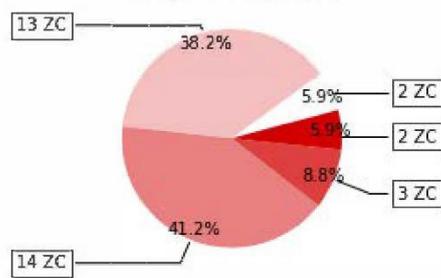
Fuente: Elaboración propia, 2022

Índice de riesgo por Zona Censal en el año 2002

Índice de riesgo por Zona Censal en el año 2017



Número de zonas censales por categoría el año 2002



Número de zonas censales por categoría el año 2017

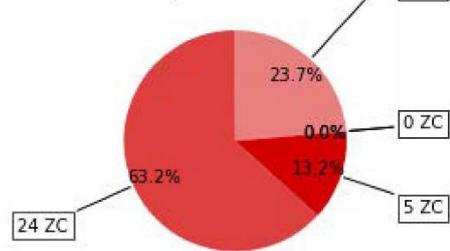


Figura 24: Índice de Riesgo
Fuente: Elaboración propia, 2022

DISCUSIÓN

Importancia y utilidad práctica del trabajo

Este estudio presenta un novedoso marco de trabajo para las evaluaciones de riesgo climático a escala local. La evaluación basada en indicadores es común en la construcción de índices, pero la aplicación de técnicas de lógica difusa, software cartográfico y la automatización de procesos, para una aproximación a escala local enmarcada en una evaluación espacial y temporal, es relativamente novedosa en el área de las evaluaciones de riesgo climático. Por otro lado, las olas de calor figuran como uno de los eventos climáticos que pueden causar impactos negativos en la salud de la población de la comuna, pero no hay información de cómo se distribuyen estos impactos ni de su severidad. A pesar de que existe evidencia contundente de que estos eventos se harán más frecuentes e intensos con el paso de los años.

Los índices elaborados en el presente estudio proveen de un potente insumo para la planificación territorial de la comuna El Bosque. Además, sirven de herramienta de comunicación entre los ciudadanos, el gobierno local y el mundo académico, dada la simpleza de las cartografías, que debieran poder ser interpretadas fácilmente tanto por los pobladores de la comuna, como por el gobierno local. Adicionalmente, como resultado de la recopilación de información para calcular los 25 indicadores se crea una base de datos muy completa y versátil que puede ser utilizada en otras áreas de estudio y seguir actualizándose a medida que las distintas fuentes vayan levantando nueva información.

La elaboración de mapas de riesgo para dos años distintos permitió visibilizar cambios temporales y espaciales entre los años 2002 – 2017. Esto facilita la identificación de fenómenos causa-consecuencia, a partir de la observación del comportamiento de las variables en el tiempo. Hacer seguimiento de estos cambios ayuda a identificar zonas de mayor vulnerabilidad o exposición ante un peligro en particular, así como variables clave que permitirán reducir los impactos negativos.

Considerando los resultados del presente trabajo —que El Bosque es la sexta comuna más densamente poblada la Región Metropolitana de Santiago (INE, 2017b) y la quinta con menor porcentaje de áreas verdes (Ubilla-Bravo, 2014)—, se puede afirmar que los temas de desconcentración de la población, educación y la creación y mantención de áreas verdes, especialmente en el sector uno del PLADECO, debiesen ser prioritarios en la planificación. La utilización de especies nativas en vez de exóticas al momento de plantar árboles y aprovechar los sitios eriazos abandonados como posibles parches de vegetación dentro de la ciudad, son maneras de abordar el desafío de la creación y mantención de áreas verdes, y ambas están presentes dentro de la Política Regional de Áreas Verdes de la Región Metropolitana de Santiago (Ubilla-Bravo, 2014).

Trabajos como este representan un gran aporte a las comunidades locales, especialmente a aquellas con menores recursos y con altos niveles de pobreza. Son estas comunidades, las más vulnerables a los efectos del cambio climático, y, por ende, las que se verán más severamente afectadas en los años por venir. Con respecto a la comuna El Bosque, esta cumple con las condiciones descritas y además posee otros factores subyacentes que la sitúan en una posición de vulnerabilidad climática respecto de otras del área

metropolitana de Santiago. Las escasas áreas verdes (Päcke et al., 2010), la ubicación periférica que limita el acceso a servicios básicos y de emergencia (Rodríguez et al., 2001) y la situación de las comunas colindantes que también poseen condiciones similares en cuanto a pobreza y acceso a áreas verdes, generan un efecto borde perjudicial. Por estas razones, la comuna El Bosque puede beneficiarse de este tipo de insumos, poco costosos y que pueden aportar al hacer más eficiente la focalización de los esfuerzos enfocados a mejorar la calidad de vida.

Relación del trabajo con otros similares

Existen dos trabajos previos que guardan estrecha relación con la presente investigación. En este apartado se genera el espacio para discutir estas relaciones y visibilizar similitudes y diferencias.

El Atlas de Riesgos Climáticos para Chile (Urquiza et al., 2020) presenta un esfuerzo colaborativo entre múltiples centros de investigación, cuyo producto principal es una plataforma digital que permite visibilizar los distintos riesgos climáticos a los cuales están sometidas todas las comunas del país a través de mapas de riesgo climático y sus distintos componentes. Al igual que el presente trabajo, el Atlas utiliza lógica difusa y reglas lógicas para la creación de los índices, y posee un apartado específico para los impactos en la salud de las altas temperaturas. Esto permitió replicar gran parte de los indicadores presentes en el Atlas, así como sus respectivas reglas de agregación. Otra semejanza con el Atlas, que también se puede ver en el Suplemento del Riesgo para el Libro de la Vulnerabilidad (2017), es la estructuración de los factores del riesgo en una cadena de impactos, donde los indicadores constituyen la unidad básica, que al agregarse generan los componentes del riesgo y finalmente el riesgo en sí. Sin perjuicio de lo anterior, la escala de trabajo del Atlas no permite visibilizar el comportamiento espacial del riesgo y sus componentes a una escala inferior a la comunal. Además, hasta la fecha, el Atlas no permite seleccionar el año de evaluación, y no se pueden ver cambios temporales en la situación de cada comuna. Estas fueron las principales motivaciones que dieron origen al presente trabajo, plantear un marco metodológico que pudiera brindar aún más detalle, a los avances provenientes del Atlas.

El Atlas de Riesgos Climáticos es posiblemente el trabajo más completo que incorpora la lógica difusa en todas las etapas de su evaluación en Chile, sin embargo, no es el primero. El primer trabajo en incorporar las técnicas basadas en lógica difusa en Chile corresponde a la investigación de Araya-Munoz (2017), que, al igual que el Atlas, presenta sus resultados en mapas de riesgo a una escala comunal, pero para dos años distintos. Además, utilizan métodos distintos a las reglas lógicas para la agregación de los indicadores.

Se puede afirmar entonces, que el presente trabajo se trata de una combinación de los dos trabajos anteriores, ya que, incorpora técnicas de lógica difusa y reglas lógicas, dentro de una evaluación local y temporal de riesgo climático.

Reflexiones sobre el trabajo metodológico

Como se dijo anteriormente, el primer producto de la evaluación fue la construcción de una cadena de impactos que agrupó los indicadores dentro de cada componente y a través de flujos terminaran desencadenando en el riesgo climático final.

El alto número de indicadores utilizados en la evaluación y la diversidad de fuentes de información incorporadas en el mapeo del riesgo, pueden dificultar el reconocimiento de cuáles son los factores más determinantes del riesgo y cómo su interacción puede influir en un impacto adverso. A tal efecto, la representación esquemática a través de la cadena de impactos y la agregación de indicadores a partir de reglas lógicas fueron clave para dar a conocer de manera fácil y didáctica, cómo se construye cada índice. Además, la estructura secuencial en forma de flujo le permite al lector consultar cada nivel por separado, y visibilizar el efecto que tuvo cada indicador en los componentes del riesgo y el riesgo final. Por otro lado, tener distintos índices dentro de una misma evaluación permite conocer el estado de la comuna en distintas materias, como; vulnerabilidad social, equipamiento habitacional y ciudadano y planificación institucional.

Dada la cantidad de indicadores utilizados en la evaluación, los índices de sensibilidad y capacidad de respuesta fueron los más influyentes en el índice de riesgo final. El índice de sensibilidad es posiblemente el más complejo dada la cantidad de indicadores que posee, y la intrincada red de reglas lógicas que generan el índice final. Dentro de estas reglas, jerárquicamente se les dio más relevancia a los indicadores de: densidad poblacional, promedio SAVI y empleos sensibles. Sin embargo, en el cálculo final de la sensibilidad, los indicadores que más influyeron en los valores extremos del índice fueron densidad poblacional, trabajadores al aire libre y baja escolaridad. Por su parte, dentro del índice de equipamiento social, se le dio una posición jerárquicamente más relevante al equipamiento de salud, dado que, al momento de sufrir un impacto de calor, el acceso a servicios de salud será un factor clave para el bienestar de la persona.

Una fase importante en las etapas iniciales de la evaluación fue la recopilación de información a partir de fuentes de información secundaria y pública, de manera compatibilizar el estudio con la situación de pandemia que se vive actualmente, y, además, que fuera replicable en otras comunas sin costos adicionales. A raíz de esto, una de las principales dificultades fue obtener los datos a la escala sub-comunal requerida, para dos años distintos. Esta última fue la razón principal por la que gran parte de los indicadores fueron calculados a partir de datos censales, ya que, en estas encuestas, los datos son recopilados a nivel de vivienda y acompañados de cartografías con identificadores geográficos que permiten la fácil espacialización de los datos. Sin embargo, dadas las diferencias entre las bases de datos de los censos 2002 y 2017 fue necesaria una estandarización y generalización de los datos, que en algunos casos estaban a una escala mayor a la requerida. Esta fase represento un desafío, con una curva de aprendizaje prolongada, ya que fue necesario aprender y dominar lenguajes de programación antiguos como VBA⁹ para crear macros, y utilizar softwares específicos para el manejo de datos censales, como REDATAM¹⁰.

La aplicación de un sistema de lógica difusa permite conocer explícita y cuantitativamente el nivel del riesgo y sus componentes, facilitando la identificación de los factores y lugares donde la intervención será más efectiva. Además, la lógica difusa

⁹ Lenguaje de macros que se emplea para crear aplicaciones que permiten ampliar la funcionalidad de programas de la suite Microsoft Office.

¹⁰ Sistema computacional para el procesamiento, análisis y disseminación web de la información de censos.

ha demostrado ser una técnica efectiva para la estandarización de múltiples indicadores, permitiendo incluir en la evaluación indicadores con distintas unidades de medición, escalas temporales e incluso espaciales, lo que demuestra su flexibilidad y potencial para el desarrollo de evaluaciones donde las fuentes de información son variadas y escasas. Además, implementar la evaluación en Python, permite automatizar las operaciones de cálculo de riesgo y sus componentes, facilitando así la elaboración de índices para dos años diferentes, a partir de un mismo código, pero con distintas bases de datos.

Las ventajas del método presentado para realizar los mapas de riesgo son contundentes. La versatilidad y simpleza que ofrece Python para desarrollar la evaluación multicriterio y la elaboración de las cartografías con un software libre como Qgis, permiten realizar evaluaciones complejas a muy bajo costo. Tomado el Atlas como ejemplo, este estudio tiene el potencial de desarrollarse a nivel nacional, con tan solo actualizar las bases de datos, las cuales están disponibles de manera pública y sin costo alguno.

CONCLUSIONES

En el presente estudio se evaluó el riesgo climático del calor extremo en la salud de la población de la comuna El Bosque y todos sus componentes de manera satisfactoria. La evaluación temporal permitió poner en manifiesto las variaciones espaciales a través del tiempo, logrando visibilizar cambios en los valores de todas las zonas censales que forman parte de la comuna El Bosque. El cálculo del riesgo y de sus componentes, como lo establece la metodología propuesta por el GIZ en el suplemento del Riesgo, permite hacer seguimiento de cómo influye cada componente en el resultado del riesgo final, y así lograr una caracterización más completa de la comuna, en cuanto a su composición demográfica, social, política y ambiental.

Con base en lo anterior, la lógica difusa provee una herramienta cuantitativa para determinar el riesgo climático, permitiendo realizar evaluaciones optimizadas para grandes volúmenes de datos sin costos agregados. La implementación de reglas lógicas siguiendo la estructura de la lógica clásica, permite entender de manera sencilla los complejos procesos que ocurren al interior del sistema de lógica difusa, haciendo la evaluación más inclusiva para distintos lectores.

La utilización de software cartográfico permite la elaboración de mapas que, aunque con cierto grado de error e incertidumbre, pueden conformar las bases del desarrollo de estrategias de adaptación al cambio climático y generar conciencia sobre el peligro inminente del calor extremo y los riesgos que conlleva. Al contar con cartografías y tablas con los valores de cada indicador, se puede inquirir desde la unidad más básica, hasta el índice de riesgo final, y de esa manera, identificar fortalezas, debilidades y oportunidades de mejora, en cada zona censal de la comuna El Bosque. En este sentido, los resultados de la evaluación son claros y autoexplicativos.

Sin perjuicio de lo anterior, la metodología utilizada tiene espacio para mejoras. Algunos puntos que se deben considerar en futuras evaluaciones son: contemplar un indicador de pobreza por ingresos; realizar instancias de participación ciudadana con cartografías participativas y *focus groups* para incorporar los conocimientos locales y la percepción de los ciudadanos sobre los impactos del calor extremo en la ponderación de los indicadores; comparar los resultados del índice con datos de mortalidad por golpes de calor en la comuna, y por último; realizar pruebas de sensibilidad para todos los indicadores, y evitar así, que aquellos indicadores con valores atípicos dominen el proceso de agregación.

La investigación y evaluación del riesgo climático se ha vuelto un tema muy activo en los últimos años, principalmente por el impacto de los desastres naturales en las actividades humanas. En este contexto, la Geografía como disciplina de aplicación práctica posee un importante rol que desempeñar, ya que permite saber la ubicación de las comunidades o servicios más expuestos y vulnerables ante un peligro determinado; y advertir con cierto grado de certeza, cuáles son las características de estas comunidades y territorios que los sitúan en posición de ventaja o desventaja respecto a las comunidades vecinas.

Así como el presente trabajo tiene relación con la Geografía, también guarda estrecha relación con la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables (IRNR). Tanto

por la cantidad y diversidad de habilidades necesarias para ejecutar la evaluación planteada (programación, elaboración de cartografías, revisión de bibliografía recopilación de bases de datos), como por la utilidad de los resultados del trabajo, ligados a la planificación y gestión de un territorio con el fin de mejorar su relación con su ambiente. Todas las habilidades y conocimientos adquiridos durante carrera IRNR fueron esenciales para poder realizar este trabajo, que representa un aporte directo a una comunidad vecina del Campus Sur de la Universidad de Chile.

Se concluye que es posible evaluar el riesgo climático del calor extremo en la salud de la población a partir de mapas de riesgo, los cuales pueden ser un buen insumo para la planificación y la elaboración de políticas públicas dada su fácil interpretación. Además, que, esta metodología basada en información secundaria y lógica difusa tiene el potencial de aplicarse a todo Chile.

BIBLIOGRAFÍA

- Adapt-Chile y EUROCLIMA. (2015). Academias de Cambio Climático: planificar la adaptación en el ámbito local. Adapt-Chile y Programa EUROCLIMA de la Comisión Europea. Santiago de Chile, Chile. 138 p. ISBN 978-956-9708-02-2. Recuperado de <https://www.redmunicc.cl/recursos/>
- Araya-Munoz, D, Metzger, M, Stuart, N, Wilson, A & Carvajal, D 2017, 'A spatial fuzzy logic approach to urban multi-hazard impact assessment in Concepción, Chile', *Science of the total environment*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.077>
- Armesto, J. Arroyo, M. and Hinojosa, L. (2007). The Mediterranean environment of central Chile. (cap. 11, pp. 184-199). In: Veblen, T. Young, K. and Orme, A (Ed). The Physical Geography of South America. Oxford University Press. 260p. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120061/Armesto%20J.%20J.-Mediterranean.pdf?sequence=1>
- Audefroy, J. F., & Sánchez, B. N. C. (2017). Integrating local knowledge for climate change adaptation in Yucatán, Mexico. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(1), 228-237. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212609016301042>
- Balbus, J. M., & Malina, C. (2009). Identifying vulnerable subpopulations for climate change health effects in the United States. *Journal of occupational and environmental medicine*, 51(1), 33-37. Recuperado de https://journals.lww.com/joem/Abstract/2009/01000/Identifying_Vulnerable_Subpopulations_for_Climate.6.aspx
- Bannari, A., Ozbakir, A., & Langlois, A. (2007, July). Spatial distribution mapping of vegetation cover in urban environment using TDVI for quality of life monitoring. In 2007 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (pp. 679-682). IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4422887>
- Benítez, A., Velasco, C., Aninat, I., & Vergara, R. (2019). Desigualdades en salud: Brechas en acceso y uso entre locales e inmigrantes. *Inmigración en Chile, una mirada multidimensional*, 191-235. Recuperado de https://www.cepchile.cl/cep/site/docs/20191120/20191120154807/libro_inmigracion_salud.pdf
- Berkhout, F. G. H. (2012). Adaptation to climate change by organizations. *Wiley Interdisciplinary Reviews. Climate Change*, 3(1), 91-106. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/wcc.154>
- Blanco Blanco, A., Fretes Cibils, V., Boruchowicz, C., Herrera, K., Medellín, N., Muñoz Miranda, A., ... & Rodríguez, J. L. (2012). Un espacio para el desarrollo: Los mercados de vivienda en América Latina y el Caribe. New York: InterAmerican Development Bank. Recuperado de <https://publications.iadb.org/es/publicacion/un-espacio-para-el-desarrollo-los-mercados-de-vivienda-en-america-latina-y-el-caribe>

Camino, E. R., Ruggeroni, J. R. P., & Hernández, F. H. (2014). Quinto informe de evaluación del IPCC: Bases físicas. *Revista Tiempo y Clima*, 5(43). Recuperado de <https://pub.ame-web.org/index.php/TyC/article/view/281>

Campbell, S., Remenyi, T., White, C., Johnston, F. (2018). Heatwave and health impact research: A global review. *Health & Place*, 53: 210-218. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1353829218301205>

Chakraverty, S., Sahoo, D. M., & Mahato, N. R. (2019). Defuzzification. In *Concepts of Soft Computing* (pp. 117-127). Springer, Singapore. Recuperado de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-7430-2_7

Contreras, D., Delgadillo, J., & Riveros, G. (2019). Is home overcrowding a significant factor in children's academic performance? Evidence from Latin America. *International Journal of Educational Development*, 67, 1-17. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0738059318302761>

Dirección meteorológica de Chile (DMC). (2021) Reporte anual de la Evolución del Clima en Chile. a Oficina de Cambio Climático de la Sección de Climatología de la Dirección Meteorológica de Chile. Dirección General de Aeronáutica Civil. Recuperado de <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/06/ReporteClimatico2020-edmay2021.pdf>

Farrús, M., Anguita, J., Hernando, J., & Cerdà, R. (2007). Fusión de sistemas de reconocimiento basados en características de alto y bajo nivel. In *III Congreso da Sociedade Española de Acústica Forense: actas do Congreso; 2005 oct 27-28; Santiago de Compostela, España*. Santiago de Compostela: Dirección Xeral de Creación e Difusión Cultural; 2007. 8 p. Dirección Xeral de Creación e Difusión Cultural. Recuperado de <https://repositori.upf.edu/handle/10230/33324>

Garreaud, R. D., Alvarez-Garreton, C., Barichivich, J., Boisier, J. P., Christie, D., Galleguillos, M., LeQuesne, C., McPhee, J., and Zambrano-Bigiarini, M. (2017). The 2010–2015 megadrought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 6307–6327. Recuperado de <https://doi.org/10.5194/hess-21-6307-2017>

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, E. 2017. Risk supplement to the vulnerability sourcebook. Guidance on How to Apply the Vulnerability Sourcebook's Approach with the New IPCC AR5 Concept of Climate Risk

Guirguis, K., Gershunov, A., Tardy, A., & Basu, R. (2014). The impact of recent heat waves on human health in California. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 53(1): 3-19. Recuperado de https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/53/1/jamc-d-13-0130.1.xml?tab_body=fulltext-display

Hellmann, M. (2001). Fuzzy logic introduction. Université de Rennes, 1, 1-9. Recuperado de <http://epsilon.nought.de/tutorials/fuzzy/fuzzy.pdf>

- Ilango, S. D., Weaver, M., Sheridan, P., Schwarz, L., Clemesha, R. E., Bruckner, T., ... & Benmarhnia, T. (2020). Extreme heat episodes and risk of preterm birth in California, 2005–2013. *Environment International*, 137, 105541. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/339290674_Extreme_heat_episodes_and_risk_of_preterm_birth_in_California_2005-2013
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2017a). Reporte Comunal El Bosque 2017. Recuperado de https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas_v.html?anno=2017&idcom=13105
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2002). Censo de Población y Vivienda 2002. RedAtam Webserver. Recuperado de https://redatam-ine.ine.cl/redbin/RpWebEngine.exe/Portal?BASE=censo_2002&lang=esp
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2017b). Censo de Población y Vivienda 2017. RedAtam Webserver. Recuperado de https://redatam-ine.ine.cl/redbin/RpWebEngine.exe/Portal?BASE=censo_2017&lang=esp
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2017c). Resultados Definitivos Censo 2017. RedAtam Webserver. Recuperado de https://www.censo2017.cl/wp-content/uploads/2017/12/Presentacion_Resultados_Definitivos_Censo2017.pdf
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2018a). Manual de usuario de la base de datos del Censo de Población y Vivienda 2017. Departamento de Demografía y Censos, Instituto Nacional de Estadísticas. Recuperado de <https://redatam-ine.ine.cl/manuales/Manual-Usuario.pdf>
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2018b). Glosario por Temática Censo 2017. Instituto Nacional de Estadísticas. Recuperado de <http://resultados.censo2017.cl/download/Glosario.pdf> 2020
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2018c). Características de la inmigración internacional en Chile, Censo 2017. Recuperado de <https://www.censo2017.cl/descargas/inmigracion/181123-documento-migracion.pdf>
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2020). Migración Internacional: Evolución, datos, y desafíos futuros. Recuperado de https://www.ine.cl/docs/default-source/prensa-y-comunicacion/conferencia-ciudadana-migraci%C3%B3n.pdf?sfvrsn=885527fa_2
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Annex II: Glossary. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland, pp. 117-130. Recuperado de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_Annexes.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). La tierra es un recurso decisivo, según un informe del IPCC se encuentra sujeta a la presión del ser humano y del cambio climático, pero es parte de la solución. Comunicado de prensa del IPCC. Recuperado de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/2019-PRESS-IPCC-50th-IPCC-Session_es.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate change widespread, rapid, and intensifying – IPCC. [Comunicado de prensa]. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/2021/08/09/ar6-wg1-20210809-pr/>

ISTAS. (2017). Exposición laboral a estrés térmico por calor y sus efectos en la salud. ¿Qué hay que saber? (2017/0002). Recuperado de <https://istas.net/sites/default/files/2019-04/Guia%20EstresTermico%20por%20exposicion%20a%20calor.pdf>

Kim, D. W., Deo, R. C., Lee, J. S., & Yeom, J. M. (2017). Mapping heatwave vulnerability in Korea. *Natural Hazards*, 89(1), 35-55. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-017-2951-y>

Klir, G.J., & Yuan, B. (1995). Fuzzy sets and fuzzy logic - theory and applications. Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper/Fuzzy-sets-and-fuzzy-logic-theory-and-applications-Klir-Yuan/9ae1a18c250046ebf15b927a68b8cf1b9c54b7bb>

Kovats, R. S., & Hajat, S. (2008). Heat stress and public health: a critical review. *Annu. Rev. Public Health*, 29, 41-55. Recuperado de <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.publhealth.29.020907.090843>

Kovats, R. S., & Kristie, L. E. (2006). Heatwaves and public health in Europe. *European journal of public health*, 16(6), 592-599. Recuperado de <https://academic.oup.com/eurpub/article/16/6/592/587672?login=true>

Laboratorio de Análisis Territorial. (2018). Fortalecimiento de Capacidades de Gestión de la Dirección General de Aguas Frente a Eventos extremos, Mediante la Incorporación del Enfoque de Riesgos (S.I.T N°428). Recuperado de <https://snia.mop.gob.cl/sad/ADM5834v1.pdf>

Larsen, K., & Gunnarsson-Östling, U. (2009). Climate change scenarios and citizen-participation: Mitigation and adaptation perspectives in constructing sustainable futures. *Habitat International*, 33(3), 260-266. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0197397508000672>

Lemonsu, A., Viguie, V., Daniel, M., & Masson, V. (2015). Vulnerability to heat waves: Impact of urban expansion scenarios on urban heat island and heat stress in Paris (France). *Urban Climate*, 14, 586-605. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095515300316>

Lissner, T. K., Holsten, A., Walther, C., & Kropp, J. P. (2012). Towards sectoral and standardised vulnerability assessments: the example of heatwave impacts on human health. *Climatic Change*, 112(3), 687-708. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-011-0231-5>

López, J. M. (2018). Técnicas de evaluación multicriterio, lógica difusa y Sistemas de Información Geográfica como herramientas para el ordenamiento territorial (Doctoral dissertation, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires). Recuperado de <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/59705>

Lu, R. Y., & Chen, R. D. 2016. [En línea]. A review of recent studies on extreme heat in China. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 9(2): 114-121. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/16742834.2016.1133071>

Lynch, A. H., Tryhorn, L., and Abramson, R. (2008). Working at the boundary: facilitating interdisciplinarity in climate change adaptation research. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 89(2): 169-179. Recuperado de https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/89/2/bams-89-2-169.xml?tab_body=fulltext-display

Mann, S. (2014). Human resources and emergency planning: Preparing local governments for times of crisis. *Public Administration Quarterly*, 163-205. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/24372052>

Mancilla Flores, E. M. (2008). APLICACIÓN DEL REDATAM. Recuperado de http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rv/n15/n15_a03.pdf

Martínez, D. L. L. R. (2017). ¿Cuáles son los métodos preferidos para el modelado de preferencias? –Estudio de la comparación entre pares frente a la valoración directa. *International Journal of Information Systems and Software Engineering for Big Companies: IJISEBC*, 4(1), 7-20. Recuperado de <http://www.uajournals.com/ojs/index.php/ijisebc/article/view/158pdf>

Ministerio de Medio Ambiente. (2017). Manual del Sistema de Certificación Ambiental Municipal. Recuperado de <https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/07/MANUAL-SCAM-2017.pdf>

Ministerio de Medio Ambiente. (2021). Manual del Sistema de Certificación Ambiental Municipal. Recuperado de https://scam.mma.gob.cl/document/MANUAL_DE_INGRESO_SCAM_2021.pdf

Ministerio de la Vivienda y Urbanismo. (1975). Chile Art. 41 Aprueba nueva ley general de urbanismo y construcciones. DFL 458. Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=13560>

Moser, A., Uhl, E., Rötzer, T., Biber, P., Caldentey Pont, J., & Pretzsch, H. (2018). Effects of climate trends and drought events on urban tree growth in Santiago de Chile. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/151990>

Mohajerani, A., Bakaric, J., and Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197: 522–538. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717303201>

Municipalidad El Bosque. (2011). Ordenanza N° 10 de Participación Ciudadana de la comuna de El Bosque, Texto Modificado, Coordinado y Refundido (N° 10). Recuperado de https://www.municipalidadelbosque.cl/transparencia/archivos/ORDENANZA_PC_APR_OBADA_10.pdf

Municipalidad El Bosque. (2016). Nueva Compañía se integra al Cuerpo de Bomberos San Bernardo-El Bosque. Recuperado de <https://www.municipalidadelbosque.cl/comunidad/nueva-compania-se-integra-al-cuerpo-de-bomberos-san-bernardo-el-bosque/>

Municipalidad El Bosque. (2018). PLAN DE DESARROLLO COMUNAL 2017 -2024 PARTE II: Plan Comunal de Integración y Conectividad y Plan de Desarrollo Social y Urbano por sector y zonas. Recuperado de <https://www.municipalidadelbosque.cl/documentos-pladeco/>

Municipalidad el bosque. (2018). Sistema de Certificación Ambiental Municipal (SCAM). Recuperado de <https://www.municipalidadelbosque.cl/sistema-de-certificacion-ambiental-municipal-scam/>

National Research Council, & Mapping Science Committee. (2007). Successful response starts with a map: improving geospatial support for disaster management. National Academies Press. Recuperado de https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=zXKdAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&ots=R-uuoXGDDQ&sig=mJRgj8yfKiB-o4aD6_t_5_EkypA&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Organisation for Economic Cooperation and Development. (2013). OECD Economic Surveys Chile. (pp 20). Recuperado de <http://www.oecd.org/economy/surveys/Overview%20Chile%20survey%202013%20English.pdf>

Olcina Cantos, J., & Vera-Rebollo, J. F. (2016). Adaptación del sector turístico al cambio climático en España. La importancia de las acciones a escala local y en empresas turísticas. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 36(2): 321-352. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/78636658.pdf>

Organización Meteorológica Mundial. (2017). Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre la generación de un conjunto definido de productos nacionales de vigilancia del clima. OMM- No. 1204. Recuperado de https://library.wmo.int/?lvl=notice_display&id=20168#.YS0XcY70nIU

Pacheco, J. F., & Contreras, E. (2008). Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/35914>

Reyes Pácke, S., & Figueroa Aldunce, I. M. (2010). Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. *EURE (Santiago)*, 36(109), 89-110. Recuperado de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612010000300004

Red Chilena de Municipios Ante el Cambio Climático. (2017). Estrategia de Comunicación. Recuperado de <https://www.redmunicc.cl/recursos/>

Rodríguez, A., & Winchester, L. (2001). Santiago de Chile: Metropolización, globalización, desigualdad. *EURE (Santiago)*, 27(80), 121-139. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0250-71612001008000006&script=sci_arttext&tlng=p

González Rodríguez, M. (2018). Política de vivienda social en El Bosque. Municipio y experiencias de comités de vivienda en el contexto del estado subsidiario (2006-2014). *Revista De Geografía Espacios*, 7(14), 40-73. Recuperado de <https://doi.org/10.25074/07197209.14.876>

Runkler, T. A. (1997). Selection of appropriate defuzzification methods using application specific properties. *IEEE transactions on fuzzy systems*, 5(1), 72-79. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/258746>

Samanta, D. (2018). Fuzzy Membership Function Formulation and Parameterization. Recuperado de <https://cse.iitkgp.ac.in/~dsamanta/courses/archive/sca/Archives/Chapter%203%20Fuzzy%20Membership%20Functions.pdf>

Samuelson, H., Baniassadi, A., Lin, A., González, P. I., Brawley, T., & Narula, T. (2020). Housing as a critical determinant of heat vulnerability and health. *Science of the Total Environment*, 720, 137296. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720308068>

Satterthwaite, D., Huq, S., Pelling, M., Reid, H., & Lankao, P. R. (2007). Adapting to climate change in urban areas. London: IIED. Recuperado de https://www.slurc.org/uploads/1/0/9/7/109761391/adaptating_to_climate_change_in_urban_areas.pdf

Striessnig, E., Lutz, W., & Patt, A. G. (2013). Effects of educational attainment on climate risk vulnerability. *Ecology and Society*, 18(1). Recuperado de https://www.jstor.org/stable/26269263#metadata_info_tab_contents

Susca, T., Gaffin, S. R., & Dell'Osso, G. R. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental pollution*, 159(8-9), 2119-2126. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749111001539>

Ubilla-Bravo, G., Sepúlveda-Miranda, N., Robles-Vargas, R., & Núñez-Pino, C. (2014). Política Pública Regional de Áreas Verdes. Región Metropolitana de Santiago. Recuperado de https://www.gobiernosantiago.cl/wp-content/uploads/2014/doc/estrategia/Politica_Regional_de_Areas_Verdes,_2014.pdf

Urquiza, A.; Billi, M.; Amigo, A. 2018. Marco Analítico Resiliencia Urbana al Clima. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia. Urquiza, A.; Billi, M.; Calvo, R.; Amigo, A.; Navea, J.; Monsalve, T.; Álamos, N.; Neira, C.; Rauld, J.; Allendes, Á.; Arrieta, D.; Barrera, V.; Basoalto, J.; Cárdenas, M.; Contreras, M.; Fleischmann, M.; Horta D.; Labraña, J.; Larragubel, C.; Muñoz, A.; Oyarzún, T.; Palacios, G.; Peña, D.; Plass, M.; Prieto, N.; Salinas, S.; Smith, P.; Vargas, J.; Videla, M. & Winckler, P. (2020). Informe Proyecto ARClím: Asentamientos Humanos. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, Red de Pobreza Energética, Iniciativa ENEAS: Energía, Agua y Sustentabilidad y Núcleo de Estudios Sistémicos Transdisciplinarios, coordinado por el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia y Centro de Cambio Global UC para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Santiago, Chile.

Paz, I. K. (2007). Media aritmética simple. Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar. Boletín electrónico, 7, 1-13. Recuperado de <http://www.editorialkamar.com/et/archivo11.pdf>

Vivanco, E. (2019). Cambio Climático, conceptos e impactos. Asesoría Técnica Parlamentaria. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Recuperado de https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27848/1/CC_Conceptos_e_impactos_Website_CC_2019.pdf

Winchester, L. (2008). La dimensión económica de la pobreza y precariedad urbana en las ciudades latinoamericanas: Implicaciones para las políticas del hábitat. EURE (Santiago), 34(103), 27-47. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0250-71612008000300002&script=sci_arttext&tlng=p

APÉNDICES

Apéndice 1: Indicadores y su relación con el Atlas de Riesgos Climáticos

Índice	Indicador	Igual	Con diferencias	Nuevo
Peligro	Olas de calor de 25°C, 28°C y 30°C	✓		
	Días con más de 34°C	✓		
Capacidad de respuesta	Densidad poblacional	✓		
	Población con reducida escolaridad	✓		
	Población mayor de 65 años	✓		
	Población menor de 5 años	✓		
	Población migrante	✓		
	Trabajadores al aire libre	✓		
	Hacinamiento	✓		
	Proporción de suelo con cobertura vegetal		Homologado por promedio índice SAVI	
Capacidad de respuesta	Viviendas construidas con anterioridad al 2002		Homologado por materialidad de la vivienda	
	Adultos mayores sólo			✓
	Servicios de salud, bomberos y carabineros cada 100,000 habitantes		Accesibilidad a establecimientos de salud, bomberos y carabineros	
	Municipio cuenta con Instrumentos Planificación Territorial (IPTs)		Municipio cuenta plan regulador comunal (PRC) vigente	
	Municipio cuenta con Sistema de Certificación Ambiental Municipal (SCAM)	✓		
	Municipio cuenta con Estrategia de Comunicación de Cambio Climático (ECCC)	✓		
	Ejecución de proyectos financiados por el Programa de prevención y mitigación de riesgos (PREMIR)	✓		

(Continúa)

(Continuación Apéndice 1)

Índice	Indicador	Igual	Con diferencias	Nuevo
	Municipio cuenta con Perfil Climático Municipal (PCM) actualizado	✓		
	Planificación de seguridad pública en situaciones de emergencias	✓		
	Carácter de la participación ciudadana		Municipio cuenta con ordenanza de participación ciudadana	
	Municipio cuenta con COSOC constituido	✓		
	Municipio cuenta con CAM constituido			✓
	Municipio cuenta con CAC constituido			✓
Exposición	Población residente en la comuna/zona censal	✓		
Resumen	-	66,67	20,83	12,50
	%			

Fuente: Elaboración propia a partir de la información presente en el Atlas de Riesgos Climáticos (Urquiza et al., 2020), 2022

Apéndice 2: Ejemplo de código para el cálculo del Equipamiento social

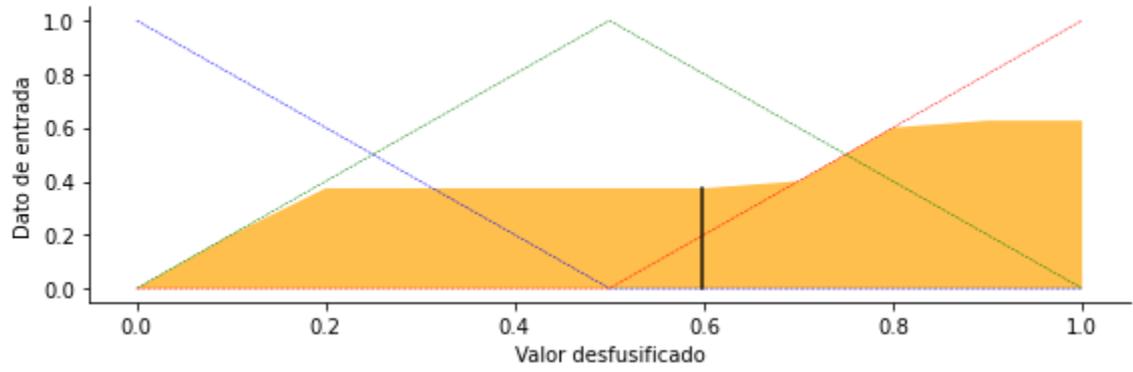
```

8 # 1) Primero importamos Las librerías necesarias:
9 import numpy as np
10 import skfuzzy as fuzz
11 import matplotlib.pyplot as plt
12 import geopandas as gpd
13 import pathlib as path
14 import pandas as pd
15 # 2) Luego cargamos Las Bases de datos y Las asignamos a variables tipo dataframe
16 # Los datos cargados corresponden a Los .shp de cobertura para bomberos, policía y salud,
17 # además de un .csv que contiene todos Los valores de ambos años
18 bdd17=gpd.read_file("path.shp")
19 bdd02=gpd.read_file("path.shp")
20 zc_2002=gpd.read_file("path.shp")
21 zc_2017=gpd.read_file("path.shp")
22 dff=pd.read_csv("path.csv")
23 # 3) Convertimos a formato pandas y activamos o desactivamos según el año
24 # que se quiera calcular
25 #dff=pd.DataFrame(bdd17)
26 dff=pd.DataFrame(bdd02)
27 # 4) Creamos Las funciones de membresía para cada indicador y para el índice final (eq)
28 # para esto usamos Los valores máximos y mínimos del .csv
29 # Se crea una función alta y baja para cada indicador y el índice (hi & lo)
30 salud5 = np.arange(float(df.iloc[:, [4]].min()),0.1+float(df.iloc[:,[4]].max()),0.1)
31 pol15 = np.arange(float(df.iloc[:, [3]].min()),0.1+float(df.iloc[:,[3]].max()),0.1)
32 bomb5 = np.arange(float(df.iloc[:, [2]].min()),0.1+float(df.iloc[:,[2]].max()),0.1)
33 eq = np.arange(0,1,0.1)
34 salud5_lo = fuzz.trimf(salud5, [0, float(df.iloc[:, [4]].min()),float(df.iloc[:,[4]].max())])
35 pol15_lo = fuzz.trimf(pol15, [0, float(df.iloc[:, [3]].min()),float(df.iloc[:,[3]].max())])
36 bomb5_lo = fuzz.trimf(bomb5, [0, float(df.iloc[:, [2]].min()),float(df.iloc[:,[2]].max())])
37 salud5_hi = 1 - salud5_lo
38 pol15_hi = 1 - pol15_lo
39 bomb5_hi = 1 - bomb5_lo
40 ee_lo = fuzz.trimf(ee, [0, 0, 0.5])
41 ee_md = fuzz.trimf(ee, [0, 0.5, 1])
42 ee_hi = fuzz.trimf(ee, [0.5, 1, 1])
43 # 5) Creamos un loop para recorrer el dataframe y obtener Los valores justificados
44 # (hi & lo) de cada indicador
45 varlist=dff.values.tolist()
46 output=[]
47 for x in range(len(varlist)):
48     vals=varlist[x]
49     geo=int(vals[0])
50     b5=vals[1]
51     p5=vals[2]
52     s5=vals[3]
53     int_b5_hi = fuzz.interp_membership(bomb5, bomb5_hi, b5)
54     int_p5_hi = fuzz.interp_membership(pol15, pol15_hi, p5)
55     int_s5_hi = fuzz.interp_membership(salud5, salud5_hi, s5)
56     int_b5_lo = fuzz.interp_membership(bomb5, bomb5_lo, b5)
57     int_p5_lo = fuzz.interp_membership(pol15, pol15_lo, p5)
58     int_s5_lo = fuzz.interp_membership(salud5, salud5_lo, s5)
59 # 6) A continuación, se declaran Las reglas lógicas de La evaluación
60 # (ver Cuadro 8)
61 eer0 = np.zeros_like(eq)
62 r1_3 = np.fmin(np.fmin(int_b5_hi,int_p5_hi),int_s5_hi)
63 r2_123 = np.fmax(np.fmin(np.fmin(int_b5_lo,int_p5_lo),int_s5_lo),np.fmin(np.fmin(int_b5_lo,int_p5_lo),int_s5_lo))
64 r3 = np.fmin(np.fmin(int_b5_lo,int_p5_lo),int_s5_lo)
65 #Activamos Las reglas y Las asignamos a La capacidad de respuesta
66 activ_r1 = np.fmin(r1_3, ee_hi)
67 activ_r2 = np.fmin(r2_123, ee_md)
68 activ_r3 = np.fmin(r3, ee_lo)
69 # 7) Agregamos Las 3 reglas en una sola
70 aggregated = np.fmax(activ_r3, np.fmax(activ_r2, activ_r1))
71 # 8) Desfuzzificamos con método del centroide
72 aggr_ee_defuz = fuzz.defuzz(ee, aggregated, 'centroid')
73 ee_activation = fuzz.interp_membership(ee, aggregated, aggr_ee_defuz)# for plot
74 plt.tight_layout()
75 output.append([geo,aggr_ee_defuz])
76 d = output

```

Fuente: Elaboración propia, 2022

Apéndice 3: Ejemplo de cálculo del centroide
Resultado Desfusificado



Fuente: Elaboración propia, 2022