UTFSM

Propuesta de evaluación de riesgo para islas decalor urbano
e inundación en la ciudad de Copiapó

2024

Universidad Técnica Federico Santa María
Departamento de Arquitectura
Valparaiso - Chile

Propuesta de evaluación de riesgo para islas de calor urbano e inundación en la ciudad de Copiapó

Universidad Técnica Federico Santa María
Departamento de Arquitectura
Valparaíso - Chile

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

Propuesta de evaluación de riesgo para islas de calor urbano e inundación en la ciudad de Copiapó

Fernanda Daniela Bugueño Moraga
Memoria de titulación para optar al titulo de arquitecto

Massimo Palme
Profesor referente

Jorge León
Profesor co-referente

Julio 2024

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer profundamente a mis padres, hermano y abuela. Su esfuerzo, apoyo incondicional y amor han sido pilares fundamentales para que hoy cuente con los valores y educación que han moldeado mi persona. Ellos han sido el pilar más sólido de mi vida involucrándose profundamente en todas mis etapas, hicieron posible que pudiera hoy estar estudiando esta carrera, sin dudar de mis capacidades, siempre tomándome de la mano en este camino.

A mi familia, que han estado a mi lado en todo momento, brindándome su cariño, compañía y levantando mi animo en los momentos más difíciles.

A mis amigos, que han estado a lo largo de todo mi proceso, que han sido un oído y hombro en donde apoyarme, dándome consejos y ayudándome en esta travesía.

A mis profesores, Massimo Palme y Jorge León, que fueron guiándome a lo largo de esta investigación, con su sabiduría y consejos para su desarrollo.

Finalmente, quiero agradecer a todas las personas que, de manera directa o indirecta, formaron parte de este proceso.

Muchas gracias.

RESUMEN

La presente tesis se configura en respuesta al cambio climático, más específico frente al aumento de temperatura e inundaciones, y cómo esto modifica el habitar de un lugar, su territorio y, en consecuencia la salud y calidad de vida de la población.

Con el paso del tiempo ha habido una mayor cantidad de inmigración hacia las ciudades, siendo estos núcleos de encuentro, donde cada vez converge más gente. Las ciudades van creciendo y, con ello, hay una mayor cantidad de viviendas y edificios. Sin embargo, esto no se suma con áreas verdes que tengan la capacidad de absorber los gases que se emiten. Sumado con el crecimiento irregular de las ciudades, en donde las comunidades tienen un desconocimiento de su entorno, habitando zonas expuestas a riesgo, aumentando así la vulnerabilidad al no tener capacidad de respuesta ante un desastre.

Esta investigación se centra en la ciudad de Copiapó, ubicada en la tercera región, la cual en los últimos años se ha caracterizado por ser una ciudad con grandes periodos de sequía, generando un aumento de la temperatura en causa por la escasez hídrica que existe, esto seguido de períodos de lluvia intensos y cortos que han provocado inundaciones y remoción de masas, que hoy en día siguen afectando la salud de los habitantes.

Se plantea la realización de un análisis de riesgo que identifique las zonas en donde la ciudad se ve expuesta a islas de calor urbano e inundaciones, junto con un análisis multicriterio que aborda el

riesgo con factores como la amenaza, exposición y vulnerabilidad en los distintos sectores que componen la ciudad, identificando de esta forma las zonas más críticas.

Con esto, se propone un medio de información, en donde se toma conciencia del entorno, como una visión hacia futuro, para implementar métodos de adaptación en la ciudad que ayuden a apaciguar las consecuencias que conlleva el cambio climático, llevándonos hacia ciudades más resilientes.

Palabras clave: Análisis de riesgo, cambio climático, resiliencia, territorio.

ABSTRACT

This thesis is configured in response to climate change, more specifically in the face of rising temperatures and floods, how this modifies the inhabitation of a place, its territory and consequently the health and quality of life of the population.

With the passage of time there has been a greater amount of immigration to the cities, being these meeting centers, where more and more people converge. Cities are growing and with it there are more homes and buildings. However, this doesn't add up with green areas, have the capacity to absorb the gases that are emitted, in addition to the irregular growth of cities, where communities have a lack of knowledge of their environment, inhabiting areas exposed to risk, thus increasing vulnerability by not having the capacity to respond to a disaster.

This research focuses on the city of Copiapó, located in the third region, which in recent years has been characterized by being a city with long periods of drought, generating an increase in temperature due to the water scarcity that exists, This was followed by intense and short periods of rain that have led to flooding and mass removal, to this day, they continue to affect the health of the inhabitants.

A risk analysis is proposed to identify the areas where the city is exposed to urban heat islands and floods, together with a multi-criteria analysis that addresses risk with factors such as threat, exposure and vulnerability in the different sectors that make up the city, thus

identifying the most critical areas.

With this, a means of information is proposed, where awareness of the environment is made, as a vision of the future, to implement adaptation methods in the city that help mitigate the consequences of climate change, leading us towards more resilient cities.

Keywords: Risk analysis, climate change, resilience, territory.

INDICE DE CONTENIDOS

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN 14

1.1 Presentación del tema 18
1.2 Contexto del caso de estudio 20
1.3 Problemática asociada 27
1.4 Hipótesis 28
1.5 Objetivos 29
General 29
Específicos 29
1.6 Metodología 30
1.7 Marco teórico y estado del arte 33
¿Qué es el riesgo? 33
Islas de calor en zonas áridas 40
Inundaciones 45
Estado actual sobre análisis de doble riesgo 48

Capítulo 2: ANÁLISIS Y METODOLOGÍA DE CATEGORIZACIÓN DE AMENAZAS 52

53
2.1 Estudio de amenaza aluvional 58
2.2 Categorización de la amenaza
2.3 Estudio de amenaza por islas de calor urbano 62
2.4 Metodología de evaluación para amenaza por islas de calor urbano 63
2.5 Análisis de datos para la obtención de la temperatura 66
2.5.1 Cálculo y levantamiento de información para la temperatura superficial 67
2.6 Categorización de la amenaza por islas de calor urbano 71
2.7 Análisis de resultados de islas de calor urbana en la ciudad 74

INDICE DE CONTENIDOS

Capítulo 3: CATEGORIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD COMO FACTOR DE RIESGO 76

3.1 La ciudad y sus factores de vulnerabilidad 77
3.2 La ciudad y sus factores de vulnerabilidad frente a aluvio nes 79
3.3 La ciudad y sus factores de vulnerabilidad frente a islas de calor urbano 82
3.4 El uso del análisis multicriterio para la categorización de la vulnerabilidad 85
3.5 Metodología AHP para variables de vulnerabilidad ante Aluviones 88
3.5.1 Desarrollo de mapa de materialidad e infraestructura 91
3.5.2 Desarrollo de mapa de pendientes 94
3.5.3 Desarrollo de mapa de permeabilidad 96
3.5.4 Desarrollo de mapa de edad 98
3.5.5 Desarrollo de mapa de Distancia a servicios de salud 100
3.5.6 Desarrollo de mapa de hacinamiento 102
3.5.7 Desarrollo de mapa de vulnerabilidad ante aluviones 104
3.6 Metodología AHP para variables de vulnerabilidad ante isla de calor urbano 106
3.6.1 Desarrollo de mapa de Materialidad 108
3.6.2 Desarrollo de mapa de acceso a agua potable 110
3.6.3 Desarrollo de mapa sobre calidad del aire 112
3.6.4 Desarrollo de mapa de acceso a áreas verdes 114
3.6.5 Desarrollo de mapa de vulnerabilidad ante islas de calor urbano 116

Capítulo 4: CATEGORIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN **118**

4.1 El concepto de exposición y su categorización en la ciudad 119
4.2 Análisis de infraestructura crítica en la ciudad 120
4.3 Densidad poblacional como factor de exposición 124
4.4 Desarrollo de mapa de exposición 126
4.5 Elaboración de mapa de riesgo 128

Capítulo 5: DESARROLLO DE MAPA DE DOBLE RIESGO PARA LA CIUDAD DE COPIAPÓ **140**

5.1 Desarrollo de mapa de doble riesgo 141
5.1.1 Mapa de riesgo situación 1 142
5.1.2 Mapa de riesgo situación 2 143
5.2 Desarrollo de mapa de doble riesgo 144
5.2.1 Sectores críticos 148

Capítulo 6: CONCLUSIONES **166**

6.1 Conclusiones Generales 167
6.2 Propuestas de mitigación 169

BIBLIOGRAFÍA **172**

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

"Las comunidades en situación de desastre viven muchas veces la incertidumbre de no conocer las razones que desencadenan su experiencia. Descripciones, caracterizaciones e identificaciones tanto de amenazas como de procesos naturales (por ejemplo, cambio climático o sequía) son conocimientos generados al alero científico de la academia que aportan explicaciones sobre las cuáles tomar decisiones.
Mas no solo las escuchas de ambas partes son suficientes, pues el diálogo requiere de la interacción entre saber elaborado y cotidiano"
(Aluviones y resiliencia en Atacama. Construyendo saberes sobre riesgos y desastres, 2018)



Figura: Sequía e inundaciones
Fuente: Elaboración propia en base a fotos de Arquitectura y resiliencia en Atacama; y iagua.es, https://www.iagua.es/sites/default/files/styles/thumbnail-700x700/public/20130201_Rio_Copiapo_seco.jpg?itok=jaetFuhz

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los mayores problemas que enfrenta la humanidad actualmente, ya que ha afectado la forma de habitar. Por ello, cada vez surgen con mayor frecuencia fenómenos naturales, como lo son el aumento de temperatura y aluviones, lo que ha puesto a prueba a las ciudades y a su forma de responder ante estas amenazas. Surge entonces la importancia de estudiar estos fenómenos, cuestionando su perjudicialidad y el cómo la arquitectura puede ayudar con nuevas formas de construir, tomando medidas de adaptación que solucionen carencias que actualmente se poseen y que generan un mayor riesgo en la ciudad.

Para este estudio se toma como caso la ciudad de Copiapó, que en los últimos años ha sufrido grandes cambios por los desastres ocurridos en el año 2015 y 2017. Junto con una sequía y un aumento paulatino de las temperaturas, ha tenido uno de los mayores índices de variación a nivel país. Se presenta como una ciudad que ha sufrido frente a estos desastres, los cuales afectaron a sus habitantes y su entorno, en consecuencia, al día de hoy hay sectores que no se han recuperado por completo, mostrando que la ciudad no es resiliente, puesto que se ve mayormente afectada. Se presentará el caso junto con un estudio de sus amenazas y un análisis de riesgo frente a ambos fenómenos, tanto para movimientos fluviales como para el aumento de temperatura, tomando en cuenta las características de la ciudad, su clima y su población.

Se presenta un análisis de riesgo, definido como el promedio entre la amenaza, vulnerabilidad y la exposición, el cual es primordial que se personalice para cada localidad en la cual se desarrolla. En este caso, es una ciudad de clima árido, la cual se caracteriza con tener zonas cálidas y así se analizan las variables de mayor importancia para que esto suceda en los distintos sectores en los cuales se reconoció una amenaza.

Para el estudio de desastres aluvionales se toma como referencia diferentes documentos que se han realizado en el último tiempo, tomando en cuenta la amenaza como el nivel de inundación en distintos sectores, realizado por el plan regulador del año 2018, en el cual se identificarán diferentes variables que componen los espacios más vulnerables, esto mismo se realizará en el estudio de las islas de calor urbana.

Teniendo los riesgos identificados, se procede a hacer un análisis conjunto que nos permite ver las zonas más amenazadas, comprendiéndose como los sectores con un mayor riesgo, tomando en cuenta que estas amenazas son independientes, ya que una no condiciona la otra. Sin embargo, ambas pueden suceder a lo largo del año en una secuencia cercana, puesto que los desastres como aluviones se dan en la época invernal, mientras que el aumento de temperatura en el verano.

1.1 PRESENTACIÓN DEL TEMA

El tema de la presente tesis, se irá abordando desde lo más general a lo más particular, empezando con una contextualización del lugar en que se enfoca esta investigación. Posteriormente, se irán presentando las problemáticas que han ido surgiendo a lo largo de los años debido al cambio climático.

Ya siendo abordada la problemática, se generará un discurso de como se construirá un análisis de riesgo y los componentes importantes para este, abordándolo desde la amenaza física, exposición y vulnerabilidad. Se ofrecerá una explicación de cada punto, con el fin de completar un análisis multicriterio que logre visibilizar las áreas en la ciudad que tengan un mayor riesgo.

Con esto, se concluye que la tesis se abordará desde una escala de ciudad para luego ir a una escala barrial, que considerará un análisis desde las características sociales y demográficas, donde se propone que, a parte de estas diferencias, se puede exponer un mayor riesgo, lo que permitirá identificar el grado de vulnerabilidad y resiliencia de lugares que, por ejemplo, están expuestos al mismo grado de amenaza física.

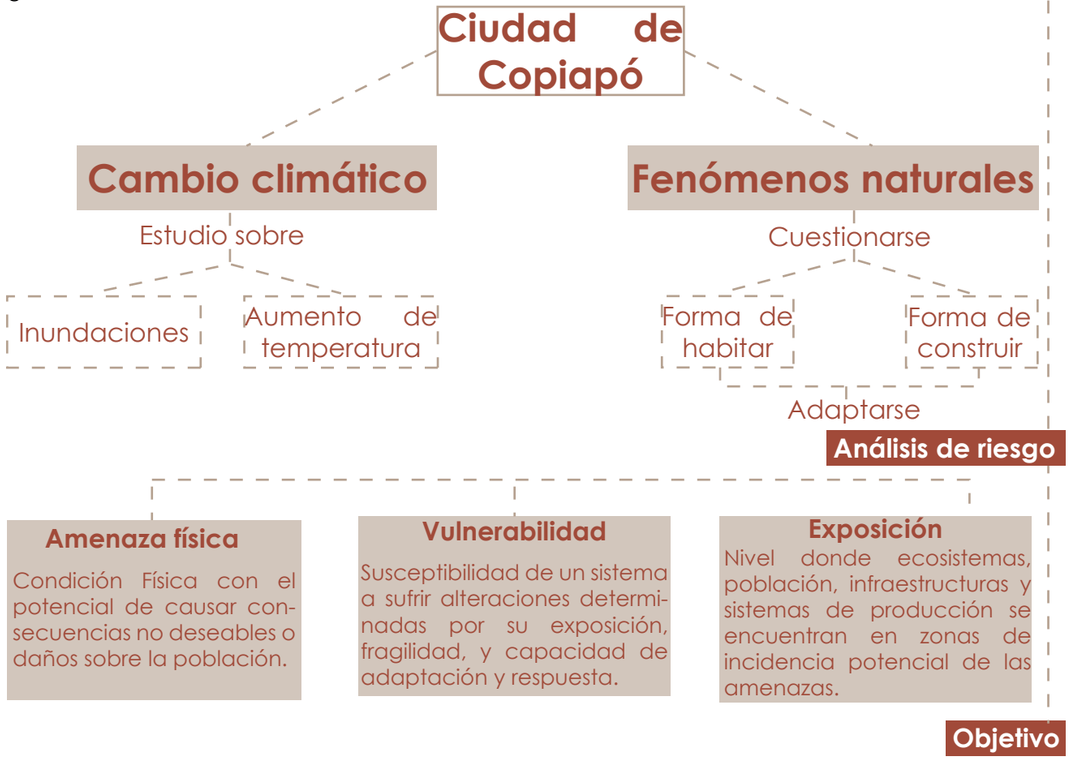


Figura 2.
Introducción conceptual
Fuente: Elaboración propia

1.2 CONTEXTO DEL CASO DE ESTUDIO

Características generales

Copiapó es capital de la tercera región del país,y se caracteriza por ser una ciudad minera, donde mayormente se explota el cobre, como también de estar en pleno desierto de Atacama.

La ciudad cuenta con 16661 km2 y, de acuerdo con CENSO 2017, posee un total de 175162 habitantes, clasificándose como una ciudad intermedia, ya que está dentro del rango de 30000 – 250000 habitantes. Esto significa que es una comuna que "no es parte de un área metropolitana emergente o consolidada, al mismo tiempo que no supera los 250.000 habitantes" (Cámara Chilena de la construcción, 2018), a su vez, se caracteriza por tener una alta migración y una marcada segmentación socioeconómica. En este sentido, los sectores más acomodados perciben un promedio por hogar 55 veces mayor que el estrato más bajo, "los estratos más pobres (grupos D Y E) corresponden al 56% de las viviendas, que se concentran en la periferia de la ciudad" (ATISBA, 2005).

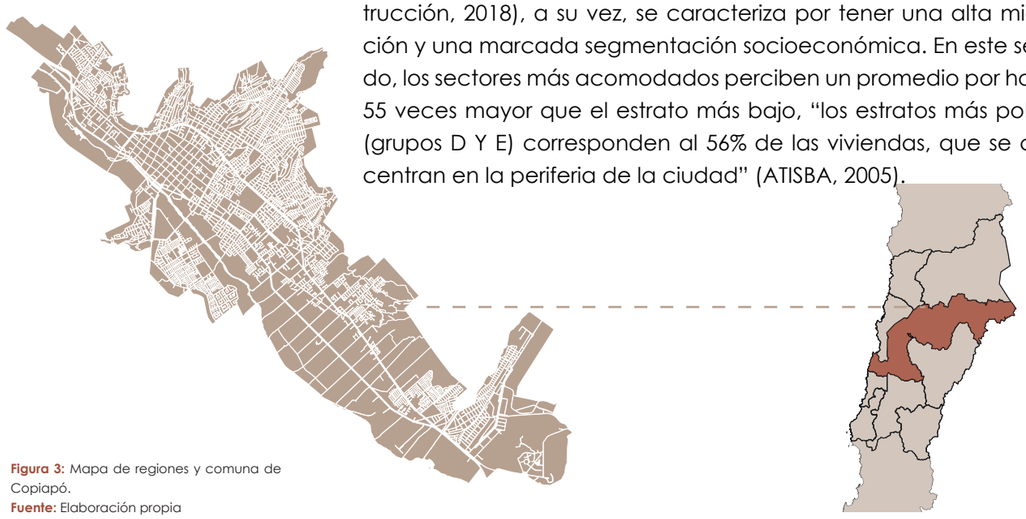


Figura 3: Mapa de regiones y comuna de Copiapó.
Fuente: Elaboración propia

Climatología, vegetación y suelos

Copiapó es una ciudad clasificada en Bw según Köppen, es decir tiene sequedad y ausencia de vegetación, esto vendría a denominarla como una ciudad árida, con lluvias promedias anuales de 16 mm. Estas precipitaciones provienen principalmente de la cuenca del río Copiapó y la quebrada Paipote, que se originan de la junta de tres ríos, el Jorquera, Pulido y Manflas. Estas corrientes son las que traen el mayor flujo de agua traen y, durante eventos de grandes precipitaciones, tienden a desbordarse, provocando inundaciones en la ciudad.

La región esta abastecida por una escasa vegetación, donde predominan especies xerófita, mesófita y suculentas, teniendo un alto número de especies vulnerables, algunas en peligro de extinción, como Copiapoa, llareta, chaguar del jote, pacul, uvillo, quisco, sandillón, napín, carbonillo, flor tigre, cola de caballo gigante (GORE Atacama, 2013). El suelo se compone de diferentes materiales según su localización, en los cerros este y noroeste de San Fernando y Llanos de Ollantay se compone mayormente de gravas, en una mezcla de grava, arena y limo, sin vegetación. En las quebradas, se encuentran depósitos aluviales compuestos por gravas, arenas y material fino. Los terrenos de suelo urbano se componen por sedimentos cuaternarios, con gravas y arenas sueltas, y en una pequeña zona de la quebrada Paipote hay arenas finas.

En resumen, la mayor parte del suelo natural de Copiapó corresponde tanto a arenas como gravas, sumado a la alta migración que ha alterado el cauce de los ríos, por la modificación y expansión de la trama urbana, junto con la sequía que atraviesa la ciudad, provoca que haya una escasez del material vegetal, reflejado en la vulnerabilidad de diferentes especies anteriormente mencionadas, afectando de este modo el habitar, trayendo consecuencias en caso de eventos como el aumento de temperatura, que provocan una mayor reflectancia a nivel de suelo y en inundaciones, pues hay una menor permeabilidad que facilita el flujo aluvional.

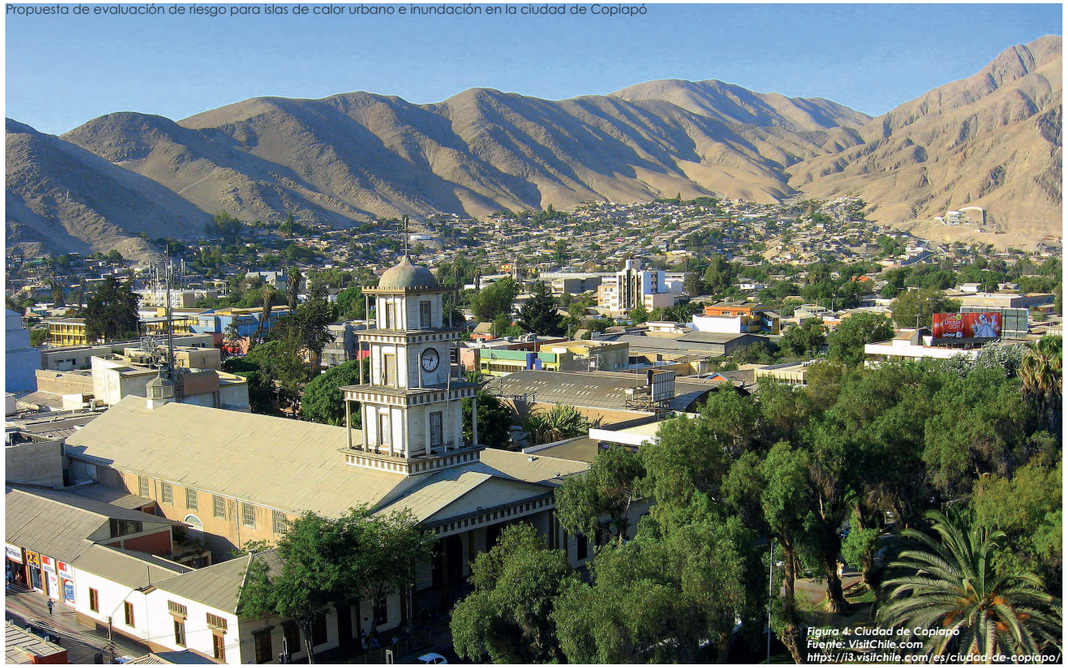


Figura 4: Ciudad de Copiapó
Fuente: VisitChile.com
https://i3.visitchile.com/es/ciudad-de-copiapo/

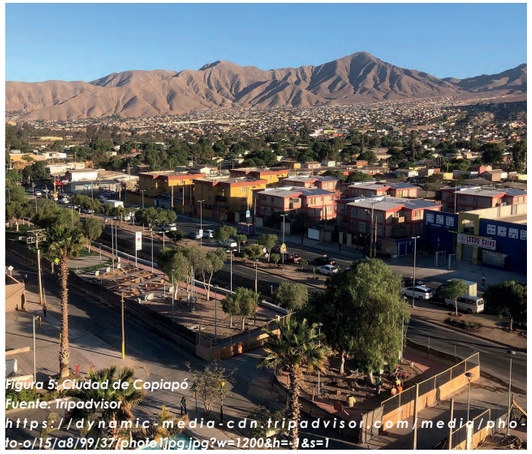
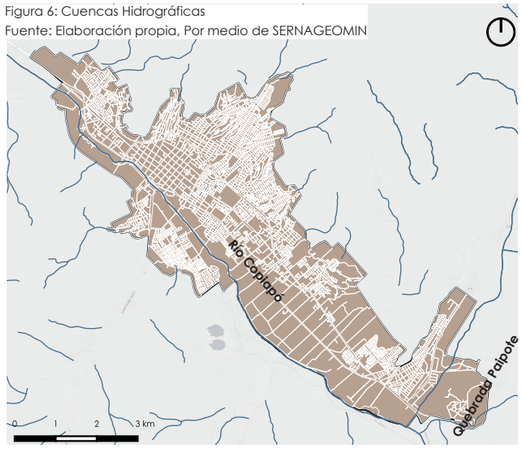


Figura 5: Ciudad de Copiapó
Fuente: Tripadvisor
https://dynamic-media-cdn.tripadvisor.com/media/photo-o/15/a8/99/37/photo1jpg.jpg?w=1200&h=-1&s=1

Figura 6: Cuencas Hidrográficas
Fuente: Elaboración propia, Por medio de SERNAGEOMIN



Historia de Copiapó

Antes de su fundación, el valle de Copiapó era habitado por colonias prehispánicas diaguítas. En el año 1536, hubo una primera expedición hacia las zonas del norte de Chile, en donde sería la primera parada que tiene Diego de Almagro en su camino por el País. Ya en el año 1549, es oficialmente un territorio conquistado por Francisco de Aguirre, en estos inicios la ciudad fue un punto importante y estratégico para la conquista de todo el territorio chileno, pues demarcaba los dominios de España en el Norte, como también era un punto obligatorio para llegar al virreinato del Perú, aun la ciudad no es nombrada oficialmente, pero por estas características ya contaba con conventos y colegios católicos.

La economía de la ciudad se sustentaba en la agricultura, pero ya en el año 1742 se descubrió el mineral de Chañarcillo, lo que impulsó un gran desarrollo económico, volviéndose la capital minera del País, esto trajo consigo un gran desarrollo urbano y arquitectónico, que logro una mayor expansión de la ciudad y ser fundada oficialmente en el año 1744 con el nombre de Villa de San Francisco de la Selva de Copiapó, de este modo la ciudad se fue expandiendo, y enriqueciendo, llegando a tener el primer ferrocarril del país en el año 1851.

La ciudad fue construida mediante cuadriculas en un plano hipodámico, característico de las ciudades de la conquista española, la cual consistía en una plaza ubicada al centro de la cuadrícula, en donde en sus manzanas más cercanas se ubicaban la iglesia y edificios públicos.

Plano original de la ciudad, en donde se puede apreciar este plano ortogonal, distribuido en cuadrículas, en donde se compone de una plaza central, rodeada de una iglesia matriz y cabildo, a medida que se va alejando se van agregando manzanas destinadas a la vivienda.

Iglesia Parroquial

Cabildo

Plaza de armas

Carcel

Manzana propiedad del fundador

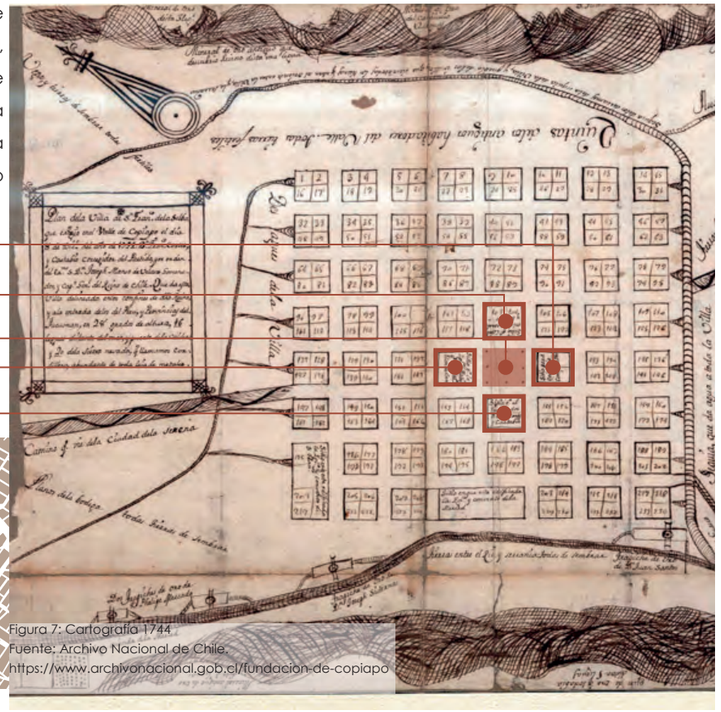


Figura 7: Cartografía 1744
Fuente: Archivo Nacional de Chile.
https://www.archivonacional.gob.cl/fundacion-de-copiapo

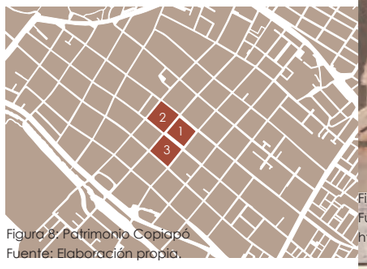


Figura 8: Patrimonio Copiapó
Fuente: Elaboración propia.

Sectores históricos



Figura 9: Fuente central plaza de armas de Copiapó.
Fuente: Consejo de monumentos nacionales de Chile.



Figura 10 : Ex - edificio consistorial de Copiapó
Fuente: ATACAMA, https://latacama.blogspot.com/2016/07/ex-edificio-consistorial-de-copiapo.html



Figura 11: Catedral de Copiapó
Fuente: Manuel Avalos, 2023





Figura 12: Casa de los hermanos Matta.
Fuente: Diario Chañarcillo, 2023.
https://www.chanarcillo.cl/la-casa-matta-41-anos-como-museo-regional-de-atacama/



Figura 13: Palacete Villa Viña de Cristo
Fuente: Universidad de Atacama, arte, cultura y patrimonio.
https://culturauda.cl/index.php/patrimonio/



Figura 14: Casa Maldini Torini de Copiapó.
Fuente: Radio Maray, 2021.
https://www.maray.cl/inauguran-emblematica-casa-maldini-tornini-en-copiapo/



Figura 15: Casa de empleados del ferrocarril de Copiapó
Fuente: Archivo fotográfico, dirección de arquitectura y patrimonio. https://afda.cl/detalle_imagen.php?i=FN-003345|3|9|0



Figura 16: Locomotora "Copiapó"
Fuente: Consejo de monumentos Nacionales. https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/monumentos-historicos/declara-locomotora-ubicada-copiapo



Figura 17: Estación de Ferrocarril de Copiapó
Fuente: Consejo de monumentos nacionales de Chile.
https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/monumentos-historicos/estacion-ferrocarril-copiapo

Crecimiento demográfico censo 2002 - 2017

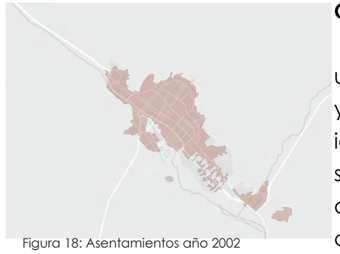


Figura 18: Asentamientos año 2002
Fuente: Elaboración propia, en base a Censo

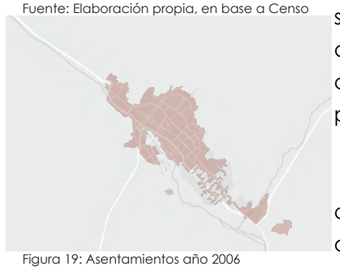


Figura 19: Asentamientos año 2006
Fuente: Elaboración propia, en base a Censo

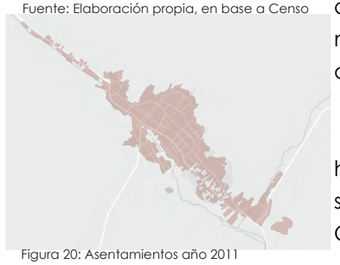


Figura 20: Asentamientos año 2011
Fuente: Elaboración propia, en base a Censo

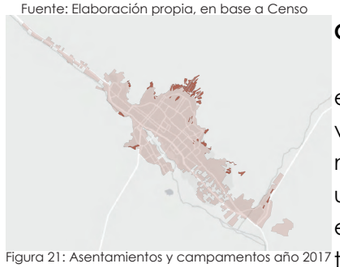


Figura 21: Asentamientos y campamentos año 2017
Fuente: Elaboración propia, base Censo y campamentos

Crecimiento y migración

La ciudad ha tenido diversos procesos, en los cuales ha logrado un desarrollo y crecimiento, debido principalmente a su economía y a la alta oportunidad laboral que esta ofrece, así es como se ha ido expandiendo hasta llegar a tener actualmente 16661 km2 de superficie, durante este período, se han fundado y adquirido grandes territorios como sería población Paipote, ubicada al este de la ciudad, sectores como la minería y el palomar ubicados al sur y sectores a la salida desde ruta 5, en donde se encuentra la universidad de Atacama, esto principalmente a ocurrido por la migración constante, que ha generado una mayor necesidad de viviendas y por lo tanto la expansión.

Según encuesta CASEN 2017 la ciudad tiene una alta segmentación socioeconómica y una pobreza multidimensional de 23,7%, que es mayor que el promedio nacional de 20,7%, a esto se suma que hay una carencia de suelos, con lo cual hay un mayor crecimiento tanto en periferias como en zonas de riesgo, viéndose demostrado en el crecimiento y surgimiento de campamentos.

“La zona ha experimentado un crecimiento acelerado, lo cual se ha traducido en una mayor demanda inmobiliaria, comercial, de servicios y calidad de vida” (El futuro rostro de Copiapó, Minería Chilena, 2013).

Cambio climático y actualidad

El crecimiento de la ciudad produjo que hubiera una intervención en el cauce natural del río, el cual, en eventos como aluviones, vuelve a su curso natural. Debido al cambio climático se estima una mayor recurrencia de este tipo de inundaciones, puesto que habrá un incremento de las precipitaciones, ademas al haber una mayor expansión, afecta el uso de suelo, provocando una mayor reflectancia, y menor permeabilidad por la perdida de vegetación por el mal uso de suelos, aumentando el riesgo a inundaciones.

1.3 PROBLEMÁTICA

Copiapó es una ciudad que se ha visto afectada por los cambios climáticos y los efectos en la naturaleza que esto a provocado, generando grandes desastres y consecuencias en la zona, reflejado en la sequía y vulnerabilidad de la población frente a eventos.

El problema radica de la falta de planificación urbana y la baja memoria colectiva que posee la población. Como se describe anteriormente es una ciudad de un crecimiento constante, que se ha visto incrementada en las periferias, este debe estar regulado y planificado, para poder lograr una calidad de vida optima para las personas, en donde tengan acceso a agua potable, transporte, servicios básicos y áreas verdes, lo cual no ha sido cumplido reflejando en la alta segmentación socioeconómica y el incumplimiento y falta de los recursos anteriormente mencionados en las poblaciones más pobres de la ciudad.

Por lo tanto, la ciudad se encuentra en una situación de riesgo, pues el efecto de islas de calor, ira aumentando con el tiempo, tanto en su forma como en su intensidad, debido a la densificación y el desarrollo urbano, y a su vez la ciudad ha sido afectada por los aluviones, que se estiman ocurrirán con mayor frecuencia y potencia en el futuro.

Con esto surge la pregunta de cómo se abordarán los problemas, puesto que son de relevancia en una ciudad que se ha visto amenazada en múltiples ocasiones, como se identificarán estas zonas

Figura 22: Río seco
Fuente: Geovirtual. https://www.geovirtual2.cl/Clima/Atacama-Aluvion-25M-0942n.jpg



Figura 23: Inundación 2015
Fuente: 25 M Atacama, Aluvión en el desierto.



vulnerables, y cuales son los componentes que generan una mayor exposición a la amenaza, en donde hay zonas de riesgo constante, pues las amenazas como el aumento de temperatura e inundaciones ocurren en épocas distintas.

Esta investigación busca identificar, estudiar y analizar las zonas de riesgos por medio de una evaluación de sus componentes y factores, esclareciéndolos para una ciudad de características áridas, con un importante crecimiento en el tiempo, dando la oportunidad de que, surja un desarrollo y planeamiento urbano ordenado, que permita así, medidas de adaptación a las amenazas que se irán desarrollando en este trabajo.

1.4 HIPÓTESIS

Los fenómenos naturales como inundaciones y aumentos de temperaturas son eventos que han causado el riesgo en la ciudad de Copiapó, por causa del cambio climático se estima que estos aumenten paulatinamente con el tiempo, ocurriendo en mayor intensidad y en periodos de tiempo cada vez más próximos, por lo cual hay zonas donde existirían dobles riesgos, es decir, que ambas amenazas coexistan en un lugar, siendo así estas zonas críticas y prioritarias para próximas intervenciones.

1.5 OBJETIVOS

Objetivo General

Generar una propuesta de evaluación doble riesgo, para eventos de islas de calor urbano e inundaciones, exponiendo las zonas de mayor vulnerabilidad y exposición en la ciudad de Copiapó.

Objetivos específicos

1-Identificar y analizar las amenazas físicas que se presentan en la ciudad.

2-Identificar, analizar y categorizar las variables de vulnerabilidad para cada amenaza, generando un diseño de análisis multicriterio, que jerarquice la intensidad e importancia de cada variable.

3-Diseñar mapas de riesgo para cada amenaza física, teniendo en cuenta el grado de exposición que se tiene en las diferentes zonas de la ciudad.

4-Diseñar y analizar un mapa de doble riesgo, que exponga ambas amenazas y las zonas más críticas de la ciudad.

1.6 Metodología

Para la realización de esta investigación se utilizarán métodos cualitativos y cuantitativos. Como métodos cualitativos, se empezará con un estudio bibliográfico de los temas de interés, y como se han desarrollado por diferentes autores, esto mediante informes, documentos, libros, tesis, entre otros. Los temas a tratar incluirán estudios sobre islas de calor urbana y los métodos utilizados para identificarla y analizarla en distintas ciudades, así como Inundaciones, enfocándose en estudios de los eventos que han ocurrido en la ciudad y como se ha documentado y levantado la información de los últimos eventos ocurridos en el año 2015 y 2017. También se realizará un estudio de diferentes variables de vulnerabilidad que pueden identificarse y que son relevantes para cada una de las amenazas físicas, con el fin de generar una elección consciente de elementos que se identifiquen en la ciudad de Copiapó.

En cuanto al método cualitativo, se utilizará para poder hacer uso de lo anteriormente estudiado en la revisión bibliográfica, en donde se realizarán tanto los mapas de amenaza física como la categorización de variables de vulnerabilidad y exposición, esto utilizando las siguientes metodologías:

Amenaza por islas de calor, por medio de imágenes satelitales Landsat:Se hará uso de imágenes landsat 8 sacadas del satélite USGS que contengan una menor cantidad de nubosidad en épocas de verano, esto utilizando las bandas 4, 5 y 10, que permite calcular emisividad, porcentaje de brillo, índice de vegetación y temperatura superficial de la ciudad, mostrando las islas de calor.

Luego se categorizará a nivel de manzana en una escala de 5 niveles desde zonas muy cálidas, hasta zonas frías.

Amenaza por inundación:
Se hará uso de la información recogida en el plan regulador de la ciudad, en donde se identifican los niveles de inundación que tiene cada sector de la ciudad por medio de un análisis in situ que se realizó en los eventos ocurridos en el año 2015 y 2017.

Variables de vulnerabilidad por un método de análisis jerárquico AHP
Se realizará una encuesta a un grupo de expertos en cada área de interés, en donde deberán contestar que variables de vulnerabilidad tienen una mayor importancia en una escala del 1-9. El objetivo es jerarquizar estos elementos y ver su nivel de intensidad e importancia en la ciudad, para luego identificar los sectores que presentan una mayor concentración de vulnerabilidad, generando una escala del 1 a 5.

Variables de exposición
Se desarrollarán mapas que identifiquen las zonas con mayor exposición en la ciudad, mediante la identificación de los factores que componen la exposición ante ambas amenazas y categorizando los sectores mayormente expuestos en función a estos factores. en una escala de 1 a 5.

Mapas de riesgo
Teniendo identificados los tres factores de riesgo en la escala de 5 niveles, se desarrollan los mapas de riesgo para ambas amenazas y para el doble riesgo, identificando los sectores que contengan ambos riesgos.



Figura 24: Metodología
Fuente: Elaboración propia.

1.7 Marco Teórico

En el presente ítem se busca generar un marco teórico, es decir las bases que fundamentan esta investigación, definiendo el riesgo y sus diferentes componentes, esto permitirá un entendimiento de los eventos y como se comporta una amenaza siguiendo los factores físicos y sociales de un territorio. También se definirá los dos tipos de eventos en base al estudio bibliográfico y como es que se irán desarrollando en este trabajo.

¿Qué es el riesgo?

El riesgo se define como el potencial que existe en un territorio y su comunidad de sufrir daños tanto sociales como físicos, a causa de un evento o desastre, por lo tanto, este contiene múltiples factores que lo componen y que finalmente nos exponen las zonas de mayor riesgo en un territorio.

"El riesgo este compuesto por tres elementos, que son vulnerabilidad, exposición y fenómenos meteorológicos y climáticos" (IPCC, 2012), estos factores vendrían a estudiar de forma integral el riesgo, puesto que permite el análisis y estudio del sistema social que compone a la comunidad en que se basa, a su vez mide el grado de intensidad de los desastres, por lo tanto hay una personalización del estudio, definiendo el nivel de afectación y respuesta que se tiene, esto se logra identificando la economía de la ciudad, desarrollo, infraestructura, condiciones de salud, edad, entre otras, que evidencian patrones, como también las carencias o deficiencias,

que dan una oportunidad de generar acciones para el riesgo, que logren reducir, mitigar y adaptarse.

En el libro Aluviones y resiliencia de Atacama. Construyendo saberes sobre riesgos y desastres, se habla sobre la sociedad de riesgo, en la cual se plantea que "en las sociedades actuales la producción de la riqueza va acompañada de una creciente producción social de riesgo" (Ulrich Beck, 1998), esto quiere decir que un mayor desarrollo, tiende a traer una mayor cantidad de aspectos vulnerables, como puede ser el aumento de índice de pobreza, mayor cantidad de campamentos, entre otras. En los cuales, si no hay una buena planificación urbana, se visibilizan aun más, por lo tanto en caso de un desastre hay una mayor probabilidad de daño, puesto que hay más vulnerabilidad.

Por lo tanto, para poder disminuir el riesgo, debe también existir una buena planificación y gestión, lo cual busca esta investigación, identificando, analizando y exponiendo, logrando así un mayor conocimiento de los eventos que ocurren en la ciudad, y como esta se comporta, para generar una toma de conciencia que logre próximas intervenciones en la ciudad, adaptándose a estos cambios y desarrollando una mayor resiliencia.

Factor de amenaza física

Se define por amenaza física a una condición física capaz de causar daño, por lo tanto, es una fuente externa de un desastre (terremoto, tormenta, incendio), de igual manera se puede entender como un "evento físico de origen natural o antrópico que puede causar trastornos o daños a las infraestructuras y servicios, las personas, sus bienes y entorno" (Unesco, 2014). La amenaza física requiere de un territorio habitable en el cual suceda, puesto que, aquí se ve reflejado el daño en una sociedad, por esto, de estar en un medio ambiente natural, desértico, ya no se considera una amenaza, puesto que no genera una perdida, sin embargo, de ocurrir en un territorio habitable, esta vendría a causar un desastre,

que es inevitable, no obstante, se puede prevenir, para así reducir el riesgo.

La amenaza se fragmenta en dos tipos: antrópica y de origen natural. Antrópicas son aquellas que han surgido por la intervención del hombre, mientras que, las naturales son aquellas que surgen por medio de eventos climatológicos y geológicos. En este estudio nos centraremos en dos amenazas naturales, las cuales son: aumento de temperatura e inundaciones.

La inundación viene a estar en una categoría de geo-amenaza, puesto que, características como tipo de suelo, pendiente y cuencas hidrográficas viene a condicionar que la ciudad este expuesta a un mayor riesgo frente a este tipo de eventos, esto se ve reflejado en estudios e informes que señalan que, la ciudad tiene un tipo de suelo natural poco permeable, en donde ésta se ve rodeada de cerros, los cuales por medio de la intervención humana, también han sido objeto de dejar residuos de relaves mineros, todo esto conlleva a que se forme una mayor amenaza física, puesto que la inundación lleva una remoción de masa, que va dirigido a la ciudad.

En cuanto al aumento de temperatura, se identifica esta amenaza como un evento hidrometeorológico, puesto que, es un fenómeno atmosférico, que ha ido en aumento a lo largo de los años, este tipo de evento causa daños ambientales y también en la calidad de vida y forma de habitar de la población, en donde se estima que la temperatura subirá paulatinamente debido al cambio climático.

Factor de vulnerabilidad

Dentro de la amplia gama de definiciones que existen, nosotros nos guiaremos por la siguiente: "Cuando hablamos de vulnerabilidad, hacemos referencia a un concepto entendido desde distintos autores como aquella inestabilidad, inseguridad frente a un medioambiente cambiante. Representa la disminución de las

personas y colectividades humanas en su capacidad para anticiparse, enfrentar y sobreponerse a los efectos de un peligro natural o causado por la actividad humana." (Aluviones y resiliencia en atacama construyendo saberes sobre riesgos y desastres, 2018)

La vulnerabilidad está definida como una palabra compuesta, debido a que se forma del conjunto de múltiples elementos que vienen a caracterizar una ciudad, pueblo u zona habitable. Para entender este término, se debe de estudiar el contexto en donde se hace el análisis, del cual se rescata principalmente la vulnerabilidad como un factor positivo, siempre que el ambiente y entorno sean capaces de sobreponerse a los efectos de una amenaza, traduciéndose como una baja vulnerabilidad; por otro lado, es negativo, cuando, el entorno y ambiente son inseguros.

Los factores que componen la vulnerabilidad pueden ser físicos, económicos, sociales y ambientales, puesto que, es un término que va más allá de la amenaza, involucrando así todo el escenario de un territorio, es decir, su comunidad, el modo de habitar, características de la ciudad, entre otras. Al verse compuesta por todos los factores anteriormente descritos, la vulnerabilidad, vendría a definirse en un carácter cambiante y evolutivo, puesto que, este se va transformando junto con su sociedad, adquiriendo una mayor capacidad de respuesta ante una amenaza, al haberse mitigado u adaptado a su entorno y los cambios que ha traído consigo, ya sea el cambio climático o el desarrollo urbano, también puede haberse desarrollado un mayor grado de susceptibilidad, al verse sumergida por estos cambios, no siendo capaz de adaptarse. Los factores, son acumulativos, es decir que por mayor cantidad de factores que se posean en un sector, mayor es la vulnerabilidad de este, por lo cual se deben estudiar todos estos en su conjunto y por separado.

Debemos de tener en consideración que: "La vulnerabilidad, puede tener dos enfoques, uno hacia la gestión del riesgo de

desastres y el otro, hacia el cambio climático. Por ejemplo, en el primero está relacionado a la resistencia física de estructuras y procesos socio-ambientales, mientras el segundo está relacionado a la susceptibilidad y a la falta de resiliencia o incapacidad de adaptarse y hacer frente a los eventos extremos" (Brklacich & Bohle, 2006; IPCC, 2001, 2007; Luers et al, 2003; Schröter et al, 2005; IPCC 2022). Para la realización de este trabajo, se utilizará el segundo enfoque, que se basa en un estudio de la susceptibilidad, esto con el propósito de analizar los sectores más vulnerables en la ciudad, identificando el grado de intensidad al que se está expuesto, esto desarrollándolo a una escala local, que logrará tener una fuente de información, que permitirá abrir el campo de estudio para próximas intervenciones.

Factor de Exposición

"La exposición es el grado en que un sistema de infraestructura se pone en contacto con las condiciones o los impactos climáticos específicos y la probabilidad que este estrés afecte a la infraestructura" (Diagnóstico de la vulnerabilidad de las obras de MOP y medidas de adaptación al cambio climático, 2018). El factor de exposición vendría a estar dado de la relación entre la vulnerabilidad y la amenaza física, pues este refiere a la zona en donde se conectan ambos factores, trayendo consigo un mayor grado de inseguridad, pues se ven sumados niveles de vida desfavorables, junto a la amenaza física.

El crecimiento y expansión de las ciudades intermedias, como lo es Copiapó se debe principalmente por la cantidad de trabajo que esta contiene atrayendo a la población. Por un lado, esto es positivo ya que hay una mayor cantidad de mano de obra, pero a su vez si esta no es controlada, es un aspecto negativo, debido que no hay un manejo de los efectos que trae esta expansión y como se puede manejar, en consecuencia esto puede afectar el control del territorio y de los riesgos que pueden existir en cada sector. En

base al libro de resiliencia de Atacama, se nos muestra como la ciudad fue evolucionando de esta forma, sin embargo, trajo una mayor pobreza y segmentación socioeconómica, en donde los barrios de la ciudad se delimitaban entre los barrios más altos y los más pobres, ubicados en periferias, esto frente al desastre ocurrido en el 25 de marzo del 2015, demostró que había una gran parte de la población que estaba expuesta a esta amenaza, debido a que eran barrios que mayormente estaban ubicados en estas zonas periféricas, las cuales tenían cuencas hidrográficas con la quebrada Paipote, en donde hubo gran removimiento de masas y la mayor parte de las viviendas eran de material liviano, lo cual llevo a que tuvieron un mayor daño respecto a las viviendas de materiales más gruesos, otros sectores que fueron afectados fueron los colindantes con la cuenca del río Copiapó, la amenaza afecto a gran parte de la población, sin embargo, hubo sectores de mayor exposición, por la cantidad de pobreza en la ciudad, viéndose reflejado en la intensidad y destrucción del evento.

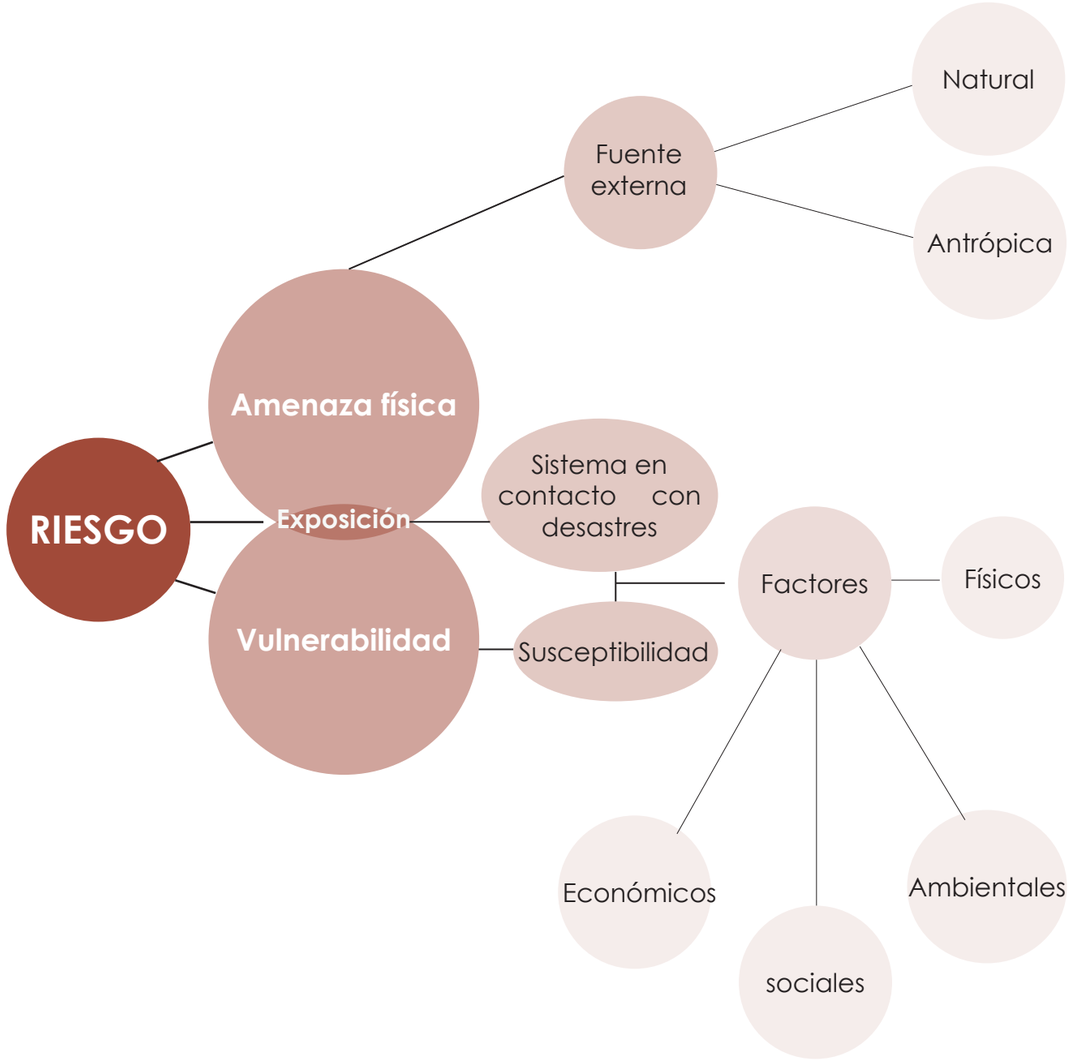


Figura 25: Qué es riesgo?
Fuente: Elaboración propia.

Isla de calor en medios ambientes áridos

La isla de calor surge como respuesta al crecimiento y expansión que han tenido las ciudades, siendo así que el primer estudio que se hizo respecto a este tema se realizó en Londres, como una interrogante que tuvo Luke Howard, puesto que noto que había una diferencia de temperaturas en las partes con mayor densidad de población frente a zonas que estaban menos densificadas, es decir, entre las zonas rurales y urbanas, creándose de esta forma el término de isla de calor urbana.

De este modo la isla de calor urbana se define como una consecuencia, al modificarse la materialidad del suelo, pasando de una zona rural, con una menor intervención, a una urbana, que utiliza una mayor cantidad de materiales, que tiene una mayor cantidad de retención del calor, por ejemplo, el hormigón y el asfalto, a esto también se suman otros factores, como densidad poblacional, tamaño de la ciudad, tipo de infraestructura, entre otras.

"La isla de calor se mide en base a tres parámetros: Intensidad, forma y localización" (Criterios para la planificación y diseño de los corredores fluviales urbanos para la mitigación de la isla de calor, 2014). La intensidad refiere a la cantidad máxima de temperatura a diferencia de un sector más frío, la forma es como esta viene a delimitarse al rodearse de sectores más frescos, formando esta isla y; la localización, va variando, dependiendo de los factores anteriormente descritos.

En un medio ambiente árido, los suelos naturales, aportan una mayor reflectancia, por lo que, tienen menos cantidad de vegetación, por lo tanto, en estos climas, las islas de calor tienen una particularidad, y es que se concentran más en zonas rurales, mientras que en las ciudades las zonas que presentan una mayor temperatura están localizadas en las periferias.

Estado del arte para islas de calor

En conclusión, las islas de calor representan un fenómeno que surgió debido al cambio y evolución de las ciudades, el cual afecta la vida de las personas que viven en estas zonas, por lo que, surgen una serie de investigaciones que ayudan a la mejora de estas situaciones para una planificación urbana sostenible. A continuación, se nombra diferentes estudios que se han hecho en zonas áridas y que han ayudado al entendimiento y desarrollo de esta tesis.

1."Climatología urbana de Copiapó como ciudad localizada en un medio ambiente árido"

Este estudio se realiza en la ciudad de Copiapó, en mano al proyecto fondecyt N°1130305 en donde la isla de calor urbana se calcula con información atmosférica proveniente de 9 estaciones fijas en la ciudad y por Zonas climáticas locales por medio de fotointerpretación de imágenes QuickBird, de este análisis las islas de calor urbana se presentan tanto en verano, como en invierno.

En las ciudades ubicada en un medio ambiente árido, las áreas de mayor temperatura tienen relación con el uso de suelo de la zona, que estarían ubicadas en los límites urbanos. Las zonas climáticas locales son propuestas por Stewart y Oke, en donde se clasifican los distintos tipos de clima en una ciudad, categorizándolo en microclimas. Esto permite entender de manera global como se puede alterar la sensación térmica si se modifica el uso de suelo. Consta de 10 zonas construidas y 5 zonas naturales.



Figura 26: Zonas climáticas locales.
Fuente: Elaboración propia.

2. Análisis de islas de calor por medio de imágenes satelitales y sistemas de información geográficos en el área urbana de la sabana de Bogotá

De este estudio se analiza el procedimiento en el cual se sacan las temperaturas de la ciudad, por ende, utiliza imágenes satelitales USGS satélite landsat 8, calculando así la temperatura superficial del territorio y delimitando las zonas de islas de calor. Esta información es de libre uso, disponible en la plataforma de USGS, en la cual tienen información satelital de diferentes años, que permite hacer una comparación cronológica de la ciudad. De las imágenes se utilizan las de banda 4, 5 y 10, estas deben de ser seleccionadas con un criterio de baja nubosidad, que no supere el 30%, debido a que esto altera el cálculo de la temperatura superficial, el cual se trabajó en la herramienta ArcGis.

Por último, se comparan con datos de estaciones en la superficie. De esta comparación el informe concluye que ambos análisis son similares en cuanto a las islas de calor, no obstante, existen diferencias en relación con los días que fueron analizados, la información disponible y los datos satelitales pueden tener leves alteraciones ya que son sacados desde la atmósfera. Sin embargo, esta retrata con mayor precisión la islas de calor, ya que la imagen posee una gran cantidad de información de píxel a píxel, mientras que, los datos de estaciones tienen una menor cobertura.

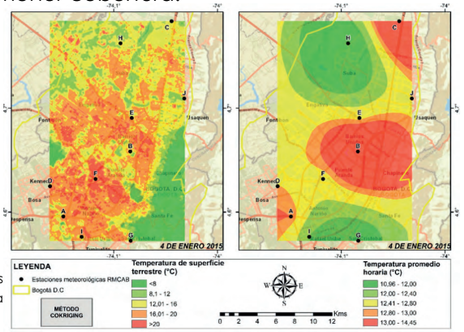


Figura 27: Islas de calor.
Fuente: Informe Análisis de islas de calor por medio de imágenes satelitales y sistemas de información geográficos en el área urbana de la sabana de Bogotá

3. Criterios para la planificación y diseño de los corredores fluviales urbanos para la mitigación de la isla de calor

Este trabajo estudia los diferentes factores en la ciudad que facilitan e incrementan la intensidad de las islas de calor, en donde se puede comprobar que diversos parámetros como topografía, tamaño de la ciudad, densidad de población, superficie de zonas verdes, tipo de material de construcción, entre otras aumenta las temperaturas. Según esto las islas de calor traen consecuencias a la vida de las personas, pues pueden provocar deshidratación, calambres, golpes de calor y aparición de enfermedades cardiovasculares.

Todo esto se estudia con el fin de poder dar una solución sostenible, que en este caso serían los corredores fluviales.

4. Impactos del crecimiento de las ciudades en los balances energéticos urbanos. El caso de Tandil, Argentina (2004-2017)

Este estudio se basa en analizar el crecimiento de la ciudad de Tandil y como este impactó en el balance energético en el periodo 2004-2017, ya que los balances, ayudan a explicar los cambios climáticos que tienen las ciudades.

El trabajo se hizo mediante la herramienta Qgis con una metodología WUDAPT, que clasifica imágenes landsat en parámetros de ZCL (zonas climáticas locales), esto realizado a lo lardo de los años.

En el análisis se pudo observar como el crecimiento de la ciudad ha causado efectos en la climatología local, pues hubo una mayor densificación y remplazo de áreas verdes.

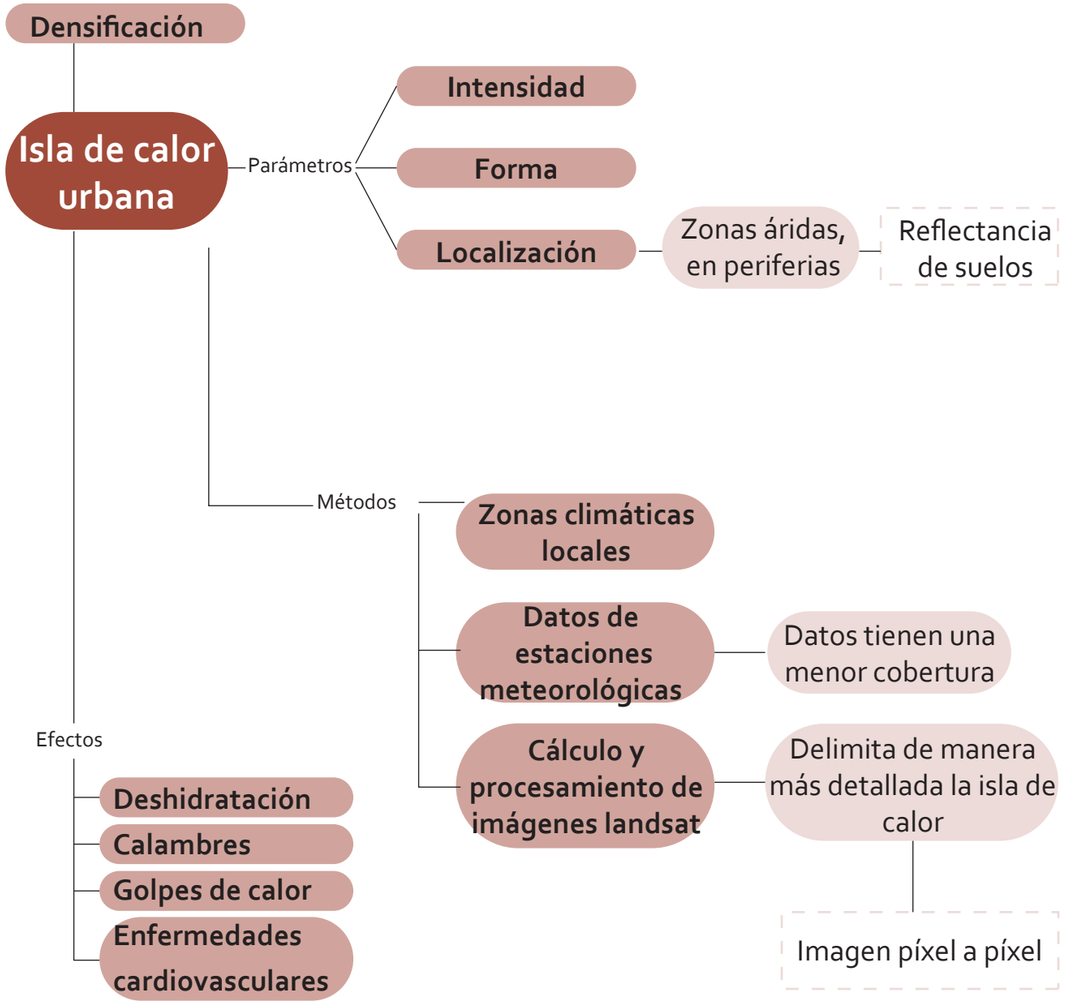


Figura 28: Islas de calor.
Fuente: Elaboración propia.

Desastres aluvionales

Los aluviones son un tipo de desastre natural, que se da por un fenómeno hidrometeorológico, que produce lluvias muy intensas que pueden ser duraderas, o cortas pero grandes, estas generan que las cuencas se saturen de agua, teniendo en consecuencia desbordamiento hacia las áreas aledañas.

Según la ONEMI los aluviones corresponden a un tipo de movimiento brusco de tierra mezclado con agua. Se caracterizan por sus flujos rápidos y violentos capaces de arrastrar rocas y otros materiales que descienden por una quebrada o lecho de río. Estos ocurren cuando el agua se acumula rápidamente en el suelo a raíz de una lluvia intensa o deshielos repentinos, convirtiendo el terreno en un caudaloso río de lodo o barro.



Figura 29: Inundación 2015
Fuente: Libro Aluviones y resiliencia en Atacama, construyendo saberes sobre riesgos y desastres

Según el libro ALUVIONES Y RESILIENCIA EN ATACAMA CONSTRUYENDO SABERES SOBRE RIESGOS Y DESASTRE (2018) "Las inundaciones causadas por flujos de derrubios y fango constituyen un riesgo a escala global, especialmente relevante en zonas de grandes desniveles y contextos climáticos áridos", en el caso de Copiapó el desborde de río, ocurre desde las pendientes de los cerros, en donde sumado a la sequía, provoca un desborde del río mucho más acelerado, arrastrando consigo árboles, rocas, tierra, entre otras.



Figura 30: Aluvión 2015, interior de viviendas
Fuente: Libro 25M Atacama: Aluvión en el desierto



Figura 31: Inundación 2015, Kaukari
Fuente: Libro 25M Atacama: Aluvión en el desierto

Estado del arte para desastres aluvionales

El estudio que se hizo de inundaciones se basa en informes y documentos, recogidos posterior al evento ocurrido en el año 2015, del cual se sacan las principales consecuencias que este tuvo y la respuesta de la ciudad frente a esta.

1. 25M Atacama: Aluvión en el desierto

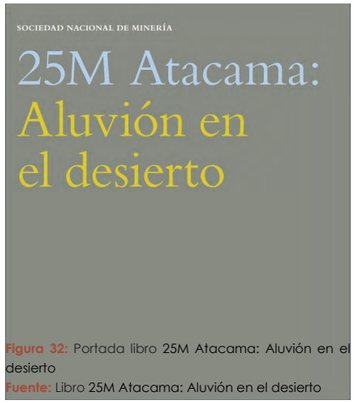


Figura 32: Portada libro 25M Atacama: Aluvión en el desierto
Fuente: Libro 25M Atacama: Aluvión en el desierto

Este informe fue sacado por la sociedad nacional de minería (SONAMI), y relata lo ocurrido en el evento del año 2015 en toda la Región de Atacama, en el cual en primera instancia pone en contexto de que este no es un hecho aislado, pese a ello, la región se ha convertido en un territorio que no tiene presente la memoria colectiva, con lo cual este libro busca que se recuerden los hechos, sus causas y sus consecuencias. Se explica que este evento ocurre por una baja segregada (BS), el cual aporto mayor vapor de agua en zonas de gran altitud, provocando que las lluvias surgieran desde la cordillera, sin embargo, como dice el informe "Es imposible evitar la bajada del agua. Los desastres no son naturales, son consecuencias de decisiones humanas" donde se recalca que gran parte de la responsabilidad de que este evento fuera tan dañino es por la intervención humana que han tenido las ciudades y sus alrededores, provocadas también con un desconocimiento de los cauces de río, reflejado así en los viñedos ubicados en estas cuencas, que fueron arrastradas por el aluvión y también por la modificación del cauce natural del río generando que frente a esta gran lluvia, recuperara su curso. Así este informe relata las principales consecuencias del evento, y las zonas más críticas, formando una memoria colectiva, que a su vez recopila de forma cronológica eventos pasados.



Figura 33: Vecindarios afectados
Fuente: Libro 25M Atacama: Aluvión en el desierto

2. Aluviones y resiliencia en Atacama, construyendo saberes sobre riesgos y desastres

Este libro se origina en base al evento del año 2015, el cual consta de una mirada integra de lo sucedido, por el hecho de que reúne a un grupo de profesionales de diferentes áreas, llegando a un análisis de la amenaza física por medio de geólogos y meteorólogos, como también un análisis social por medio de sociólogos y filósofos, en donde se rescata que la región y la ciudad anterior al evento contaba con una gran economía y crecimiento urbano, mas por lo ocurrido en esta fecha, se hizo un análisis de pobreza multidimensional, en donde se descubre que el cuarto de la población se encuentra en un grado elevado de este criterio.



Figura 34: Portada libro Aluviones y resiliencia en Atacama, construyendo saberes sobre riesgos y desastres
Fuente: Libro Aluviones y resiliencia en Atacama, construyendo saberes sobre riesgos y desastres

Se hace un análisis del nivel de inundación y remoción de masa, en donde por medio de puntos sacados in situ se logra calcular el grado de afectación que tuvo la ciudad, calculando los niveles de fango y agua, como también el grado de destrucción de la región, teniendo un total del 72% del área urbana. Por medio del análisis de este levantamiento, se nos dice que la mayor parte de las viviendas no sufrieron un daño considerable, sin embargo, aquellas que poseían un solo piso eran más propensa a sufrir daños moderados y graves, como también aquellas que poseían un material ligero, con lo cual se concluye que el tipo de infraestructura influyo en el daño.

3. Estudio actualización plan regulador comunal de Copiapó

El plan regulador actual, analiza lo ocurrido del evento del año 2015, como también el del año 2017, en donde se rescata que la mayor cantidad de daño se sufre en las proximidades de la cuenca del río Copiapó, como también de la quebrada Paipote. Este análisis se hace recogiendo el nivel de inundación de ambos eventos, en donde se saca una escala de inundación en 4 categorías: leve que es inferior a 25 cm, moderado superior a 25 cm e inferior a 50 cm, grave de 50 a 100 cm y muy grave superior a 100 cm.

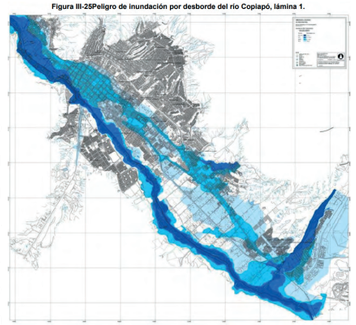


Figura 35: Mapa nivel de inundaciones en Copiapó
Fuente: Plan regulador comunal Copiapó, 2018.

Estado del arte para una evaluación de doble riesgo

A medida que pasan los años, el cambio climático va a ir evolucionando, demostrándose con una mayor ocurrencia de fenómenos naturales, los cuales pueden afectar aún más un territorio si estos ocurren simultáneamente en un multirriesgo o en una secuencia cercana, con lo cual se requiere tener un conocimiento de cómo se aborda un estudio de doble riesgo.

1. Doble riesgo de malas cosechas por meteorología extrema para 2100

Este estudio fue sacado por la NASA en repuesta al cambio climático y como este irá aumentando los fenómenos meteorológicos, como olas de calor, inundaciones, sequías, entre otras. Los cuales serán más intensos y a su vez en un periodo de tiempo cercano, lo que aumentará los riesgos en las comunidades.

El estudio analiza fenómenos meteorológicos desde el año 1991 hasta un futuro en el año 2100, por medio de un modelo climático llamado Max PLlanck latitude Grand Ensemble, con más de 100 simulaciones, en donde se analizan estos eventos a lo largo del tiempo, y para las simulaciones futuras se utiliza la base de la probabilidad de que estos fenómenos ocurran en una sucesión cercana, puesto que, se informa que para el año 2100 se estipula que las olas de calor, serán de al menos 3 días y ocurrirán 2 a 4 veces más que ahora en todo el mundo, y las lluvias aumentaran su intensidad entre un 10 a un 50%.

2. Análisis de riesgo y vulnerabilidad climática con enfoque ecosistémico

Este informe es un estudio de identificación de riesgos en la ciudad de Villavicencio, identificando cuales son los principales riesgos que están presentes, esto se hace en un análisis de vulnerabilidad de la comunidad frente a los fenómenos naturales, con una estadística de riesgo multidimensional.

Se genera un análisis de riesgo particular, para posteriormente hacer un análisis de riesgo crítico, esto para entender cómo se comporta cada evento y las soluciones para cada uno, posteriormente se complementa con este análisis de doble riesgo, en zonas donde existan más de una amenaza, generando así una mayor cantidad de daño.

Este análisis de riesgo crítico se hace de forma participativa, en donde se evalúa la percepción que se tiene sobre ciertos fenómenos, para considerar los más relevantes en la ciudad de Villavicencio, en donde se tiene como resultado que los riesgos por inundación son los más importantes, seguidos de la remoción de masa y posteriormente la sequía. Estos mapas de riesgo son generados para luego sacar un ponderado de los tres, con la superposición, haciendo más evidente las zonas donde se concentran los daños, permitiendo en el caso de la ciudad de Villavicencio, relacionar la sequía con la inundación, en donde el área de riesgo se extiende evidenciando la vulnerabilidad de más sectores.

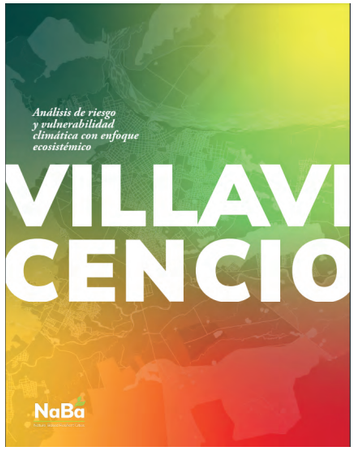


Figura 36: Portada Análisis de riesgo y vulnerabilidad climática con enfoque ecosistémico
Fuente: Análisis de riesgo y vulnerabilidad climática con enfoque ecosistémico

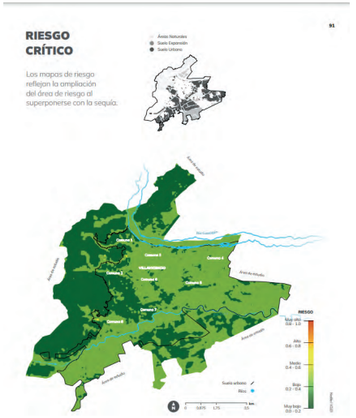


Figura 37: Análisis de riesgo crítico
Fuente: Análisis de riesgo y vulnerabilidad climática con enfoque ecosistémico.

3. Ciudades en riesgo

La oenegé CDP (carbon disclosure Project) ha generado un estudio del cambio climático y el riesgo frente a inundaciones, calor extremo y sequía, el cual se titula "ciudades en riesgo", esto por medio de información facilitada por 620 ciudades alrededor del mundo, el cual diseña un mapa interactivo que genera un rango de riesgo, calculado por el número de eventos reportados y el grado de daño que tuvieron, con el fin de poder identificar ciudades con un gran porcentaje de riesgos, para que se haga una gestión.

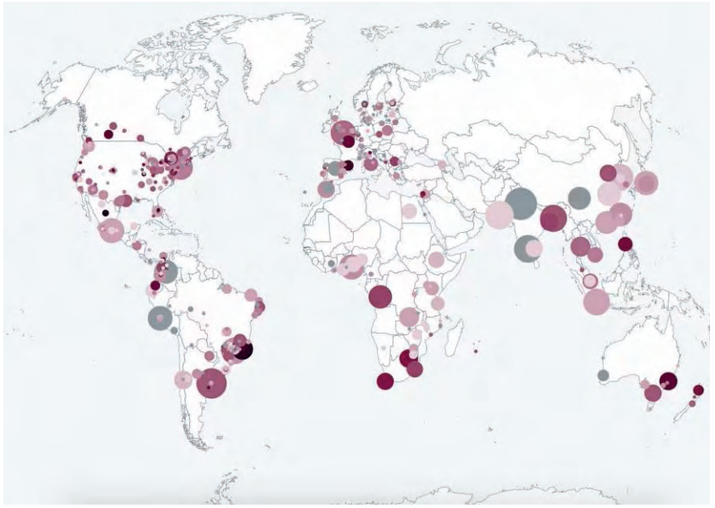


Figura 38: Mapa interactivo
Fuente: Artículo de Ciudades en riesgo.

CAPÍTULO 2: Análisis y metodología de categorización de amenazas

2.1 Estudio de amenaza aluvional

Como se explicó anteriormente, un aluvión se produce cuando existe un fenómeno hidrometeorológico que genera lluvias muy intensas, lo que provoca el desborde de las cuencas hidrográficas, causando inundaciones que afectan a la población aledaña. Estos pueden ir acompañados de desprendimiento de tierra y remoción de masa, lo que incrementa aún más el riesgo.

Copiapó, al estar ubicada en el desierto de Atacama, se clasifica como una ciudad de clima semiárido. Debido a las características propias de este clima, la ciudad presenta una gran escasez hídrica, lo que ha llevado a que la mayoría de los estudios sobre riesgo y adaptación se centren en este tema. Sin embargo, esto ha ido cambiando con los años, especialmente tras los desastres aluvionales ocurridos en el año 2015 y 2017, que evidenciaron la falta de preparación de la ciudad y resultaron en 31 fallecidos y 49 desaparecidos (2015), a su vez estos hechos han ocurrido en frecuencia a lo largo de la historia de la ciudad, teniendo gran cantidad de acontecimientos registrados.

Cronología de inundaciones en la ciudad de Copiapó

1827
Inundación en Copiapó por quebrada Paipote y río Copiapó.

1850 - 1855
Altas precipitaciones 40.5mm anuales.

1877 - 1891
Altas precipitaciones 27.7mm anuales.

1888
Inundaciones, con destrucción en cercanías a río Copiapó deja varios fallecidos.

1897 - 1905
Altas precipitaciones, 42mm anuales.

1913
Aluvión de proporciones.

1927
Grandes lluvias, desborde en quebrada Paipote y varios sectores en la ciudad.

1918 - 1944
Altas precipitaciones, 37.8mm anuales.

1980
Aluvión en Copiapó.

1985
Aluvión en quebrada manflas.

1997
Precipitaciones más altas, 148.7mm,deja 10 personas fallecidas.

2015
Aluvión deja más de 50 fallecidos en la región.

2017
Grandes lluvias, provocan desborde de río en Copiapó.

Figura N° 39: Cronología de inundaciones en Copiapó. **Fuente:** Elaboración propia en base a Geovirtual, cronología del clima en Atacama, Chile

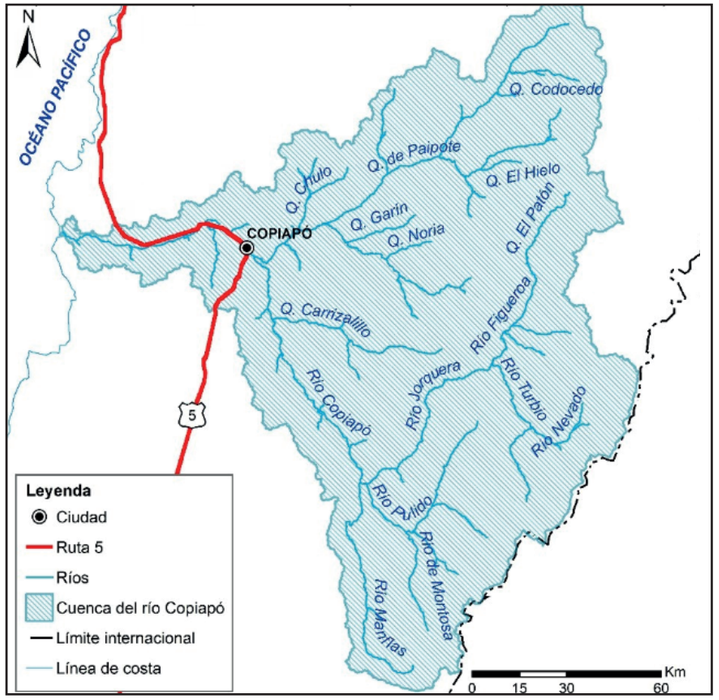


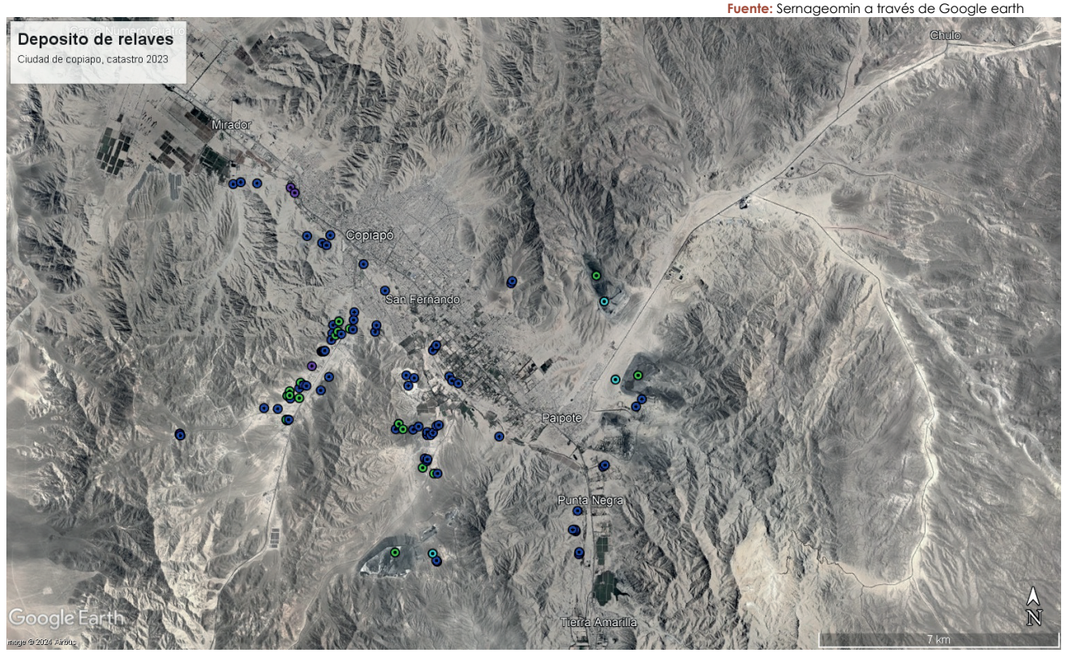
Figura N° 40: Cuencas y quebradas en Copiapó.
Fuente: Compilación y análisis del registro histórico de remociones en masa tipo flujo en la cuenca del río Copiapó, región de Atacama.

El río mas influyente en la comuna es el Copiapó, que se da de la junta del pulido y el Jorquera que "son los únicos que aportan caudales superficiales, lo que implica que sólo aproximadamente un tercio de la hoya hidrográfica es activa (Ministerio de Obras Públicas, 2016) ". Al llegar a la altura de la ciudad por el noroeste, el río se junta con la quebrada Paipote, la cual normalmente se encuentra inactiva, siendo activada cuando ocurren eventos de grandes precipitaciones.

El río contiene subcuencas y quebradas que agregan humedad, pero también mucho material sólido y antrópico, yaqué existe una escasez hídrica que ha provocado que haya una mayor acumulación de piedras y tierra, como también materiales de origen

humano principalmente ocasionados por viviendas aledañas al río y el depósito de relaves mineros que existen en la ciudad, en consecuencia cuando existen precipitaciones de gran magnitud los materiales que se encuentran en la superficie son llevados por el flujo del río cuando se ve activado convirtiéndose en una gran capa de barro. Esto se ve demostrado en el suceso de el 24 y 25 de marzo del año 2015 con el desborde tanto del río como la quebrada principal que sería Paipote, *"Los desbordes del río Copiapó generaron daños en las proximidades del cauce principal y en las llanuras de inundación, que se desencadenaron principalmente por la presencia de puentes y cambios del cauce principal" (aluvión y resiliencia en atacama, Construyendo saberes sobre riesgos y desastres, 2018)".*

Figura N° 41: Catastro de deposito de relaves Chile 2023 .
Fuente: Sernageomin a través de Google earth



2.2 Categorización de la amenaza

La ciudad ha tenido un registro amplio de desastres aluvionales, sin embargo, siempre se priorizó el estudio de la adaptabilidad a la escasez hídrica, pues es un problema persistente en el lugar, lo que gatillo a más estudios sobre los riesgos aluvionales fueron los desastres de la última década, que demostraron un gran índice de vulnerabilidad en el sector frente a este tipo de amenaza.

De esta forma es que han surgido una gran variedad de estudios que han categorizado y levantado esta amenaza en la ciudad, siendo destacado la cartografía desarrollada en la actualización del plan regulador comunal de Copiapó, en donde se rescatan los eventos sucedidos en el año 2015 y 2017 y logran desarrollar un levantamiento de esta amenaza en la ciudad, categorizándola en 4 niveles de inundación que se van configurando en los sectores cercanos a las cuencas del río, como también en la quebrada. Este informe crea una imagen fiel de cómo se desarrollaría esta amenaza, pues está basado en los eventos más bien documentados en la historia del sector, como también los más actuales, siendo así aprobada por la institución municipal.

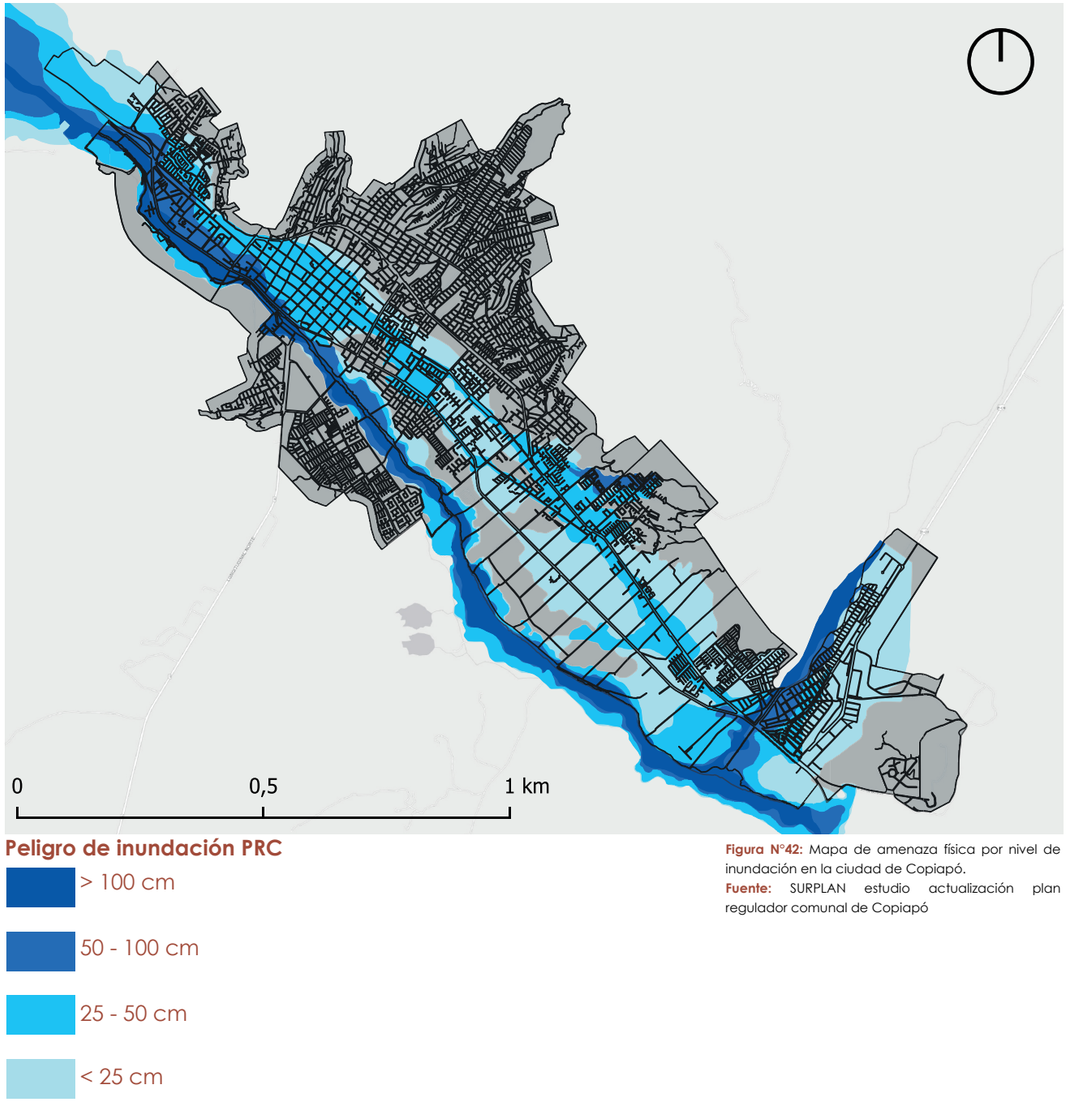


Figura N°42: Mapa de amenaza física por nivel de inundación en la ciudad de Copiapó.
Fuente: SURPLAN estudio actualización plan regulador comunal de Copiapó

En base al mapa expuesto en la figura 42, se puede observar que la amenaza física en cuanto a inundaciones afecta principalmente a los sectores en donde está la cuenca del río Copiapó y la quebrada Paipote, pues estos se activan cuando ocurren eventos de altas precipitaciones, las áreas urbanas con una mayor cantidad de inundación están principalmente localizadas atravesando una de las avenidas principales de la ciudad, la cual es avenida Copayapu, teniendo un nivel de inundación superior a 1 metro, este daño se va diluyendo a los alrededores en sectores céntricos de la ciudad teniendo una inundación de entre 25 - 50 cm, afectando a sectores, como la plaza de armas, instituciones públicas, tiendas y poblaciones (Figura 43).

Otro de los sectores afectados gravemente ante una amenaza física sería las áreas de población el Chañar pues en esta se observan áreas con inundaciones superiores entre los 50 - 100 cm, esto por medio de la Activación de cuencas del río Copiapó (Figura 43)

Además de las zonas centrales ocurren grandes inundaciones en el sector Nor - este, el cual alberga grandes poblaciones como la Chimba y también centros educativos como colegios y la universidad de atacama (Figura 43)

También se ve afectada el área sur - Oeste de la ciudad, esto principalmente por la activación y unión de la quebrada Paipote con el Río Copiapó, donde se ven principalmente afectadas gran cantidad de habitantes, pues es un área destinada principalmente a recintos habitacionales, tales como población Paipote, Llanos de Ollantay, entre otras (Figura 43)

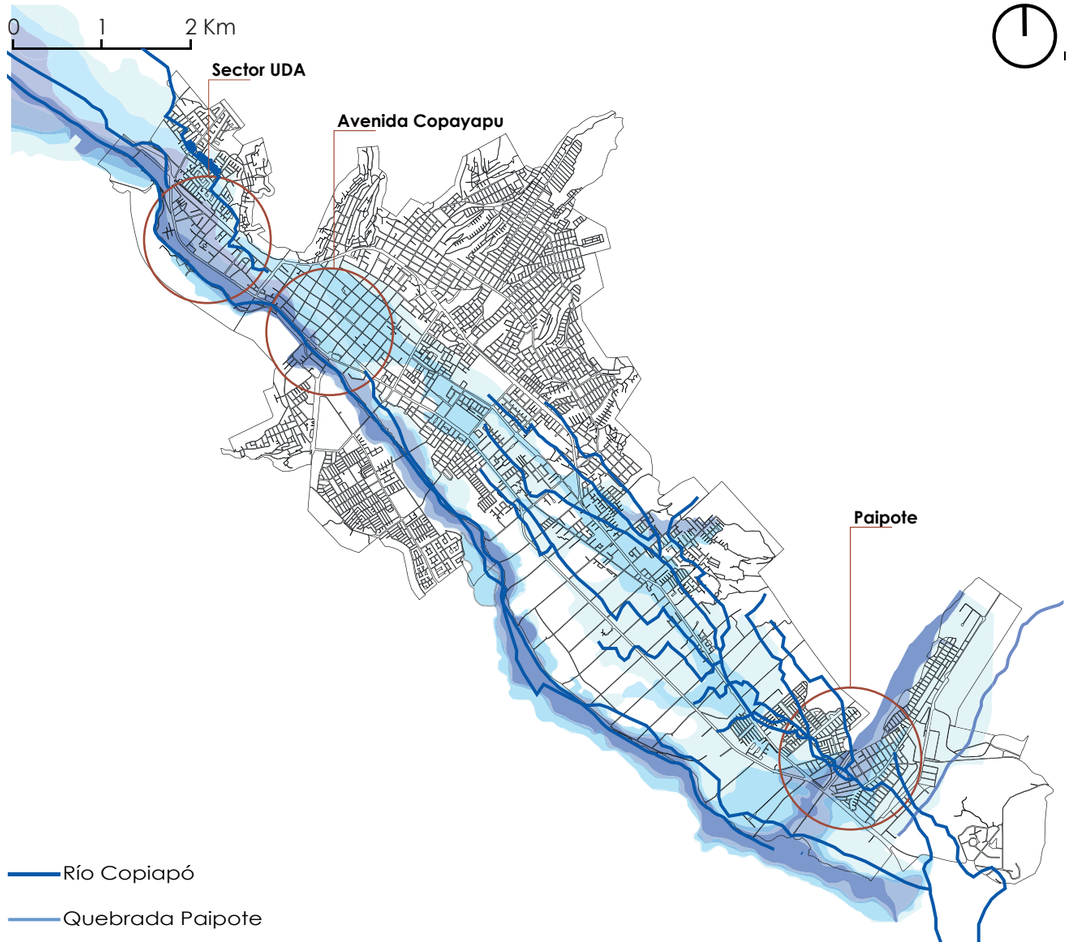


Figura N° 43: Mapa con cuencas hidrográficas y delimitación de áreas con amenaza física
Fuente: Elaboración propia en base a mapa de plan regulador comunal de Copiapó)

2.3 Estudio de amenaza por islas de calor urbano

Es bien sabido que el cambio climático ha traído consigo una serie de transformaciones, esto incluyendo el aumento de las temperaturas en las ciudades, como también la intensidad y periodos de duración de estos sucesos.

Copiapó es una ciudad que ha experimentado un aumento de temperatura, esto se potencia aún más en épocas como verano. Por ejemplo, existen registros de fechas como en noviembre del año 2019 en donde las temperaturas superaron los 40 grados celcius promedio, lo que ha llevado a informes de SENAPRED en donde se han decretado alerta temprana por estos eventos.

Además, las ciudades experimentan un fenómeno denominado islas de calor urbana, el cual consiste en que hay una concentración de temperaturas en ciertos sectores de esta por las características que pueden componerla. Por ejemplo, una escasez de áreas verdes o también una mayor reflectancia en los suelos, por lo tanto, es de vital importancia hacer un levantamiento de esta amenaza, ya que es un problema que va en incremento y debe de estudiarse para buscar alternativas para enfrentarlo e identificar las zonas que están mayormente expuestas.

2.4 Metodología de evaluación para amenaza por islas de calor urbano

Las islas de calor urbana son un fenómeno urbano el cual se calcula por medio de estaciones meteorológicas o teledetección, en este estudio se opta por el segundo método, pues permite la observación de la superficie terrestre por medio de imágenes satelitales que contienen una serie de datos que dan un análisis completo para todo el sector, pues se configuran como imágenes a "vuelo de pájaro" que logran cubrir uniformemente todo su entorno.

Este es un análisis cuantitativo, pues las imágenes son procesadas y en base a esto se realizan una serie de cálculos que permiten el cálculo de la temperatura superficial. Se denominan "imágenes Landsat 8", por el satélite del mismo nombre que las capta desde el espacio. "El satélite opera en luz visible, infrarrojo cercano, infrarrojo de onda corta e infrarrojo térmico (de onda larga)." (Bandas landsat 8: combinaciones y usos en imágenes). Fue lanzado por la nasa en colaboración con la USGS y contiene 11 bandas de información, las cuales pueden ser descargadas mediante la página de la USGS, con el fin de poder generar imágenes dependiendo del tipo de análisis que se quiera realizar.

"Este método permite una observación multiescalar, frecuencia de cobertura, homogeneidad en la adquisición y la posibilidad de captar zonas del espectro electromagnético invisibles al ojo humano" (Chuvieco, 2002).

Siendo así, esta metodología de trabajo contiene múltiples ventajas a la hora de generar un análisis, de las cuales se pueden destacar las siguientes:

Una de las grandes ventajas de este tipo de análisis es que se puede generar de forma remota, esto nos permite una optimización del tiempo, debido a que no se requiere de hacer un análisis in situ en el terreno, también se permite escoger entre varias fechas a lo largo del año, siendo así que da oportunidad de generar análisis tanto de invierno, verano y a lo largo de los años identificando así si ha habido cambios importantes en la ciudad, las imágenes tomadas tienen una gran cantidad de datos puesto que contiene espectros electromagnéticos de banda roja e infrarroja exponiendo así información que no es visible al ojo humano, con esto se abre la posibilidad de levantar múltiples informaciones de la ciudad como el índice de humedad, cobertura vegetal del suelo, temperatura superficial, entre otras.

Para el estudio de amenaza por isla de calor urbana se utilizan unas bandas específicas de información, las cuales son la banda 4, 5 y 10. Estas permiten ver 4 propiedades térmicas importantes para calcular la temperatura superficial las cuales son la conductividad térmica, la capacidad térmica, la difusividad y la inercia térmicas.



Figura N°44 : Clasificación y uso de bandas
Fuente: Elaboración propia en base a "Características principales de las bandas espectrales en imágenes LANDSAT 8", Adrianda Parra Narváez.

Análisis de temperatura superficial		
Bandas de información	**Contenido**	**Uso**
Banda 4	Tipo: Infrarojo onda corta Importante para la clasificación de la cubierta vegetal. Contrasta áreas con y sin vegetación. Delimita áreas agrícolas y urbanas.	Se usan para realizar los cálculos de: - NDVI (Índice de vegetación) - Proporción vegetal - Emisividad superficial
Banda 5	Tipo: Infra rojo cercano Importante en análisis ambientales, con cálculos de bio masa. Con banda 4 se puede calcular el NDVI. Delimita tipos de suelos, suelo-cultivo y suelo - agua	
Banda 10	Tipo: Infrarojo térmico 1 Percepción del calor en la superficie terrestre Permite estimación de la humedad del suelo	Se usa para realizar los cálculos de: - Radiancia a nivel TOA - Cálculo de temperatura en grados centigrados

Figura N°45: Clasificación y uso de bandas
Fuente: Elaboración propia en base a "Características principales de las bandas espectrales en imágenes LANDSAT 8", Adrianda Parra Narváez

2.5 Análisis de datos para la obtención de la temperatura

Las islas de calor urbana se definen como zonas en la ciudad que concentran una mayor temperatura en relación con otras zonas aledañas, de ahí el nombre de "islas" por su forma característica, en base a este criterio es que se hace un estudio de temperatura superficial en la ciudad, para la elección de la imagen esta debe contar con ciertas características, para así lograr una lectura de la información más clara.

Criterios de elección de imagen	
Escasa nubosidad	La nubosidad altera los datos que llegan al satélite, pues la nubosidad difumina la la imagen y no logra una lectura correcta de la temperatura.
Imágenes landsat 8	Se debe de seleccionar una imagen ladsat 8, pues el úumero de satélite va concorde a la época en la cual fue lanzado, por esto un satélite inferior contiene información que van desde 1972 - 2013, los cuales no son requeridos para este estudio, pues se enfoca en periodos más actuales.
Temporada Verano	Se selecciona una imagen en base a un día de temporada de verano, pues son las fechas en donde se han capturado temperaturas más altas en la ciudad, se evalúa día 30 enero 2019.

Figura N°46: Criterios de elección
Fuente: Elaboración propia en base a literatura temática

2.5.1 Cálculo y levantamiento de información para la temperatura superficial

Para poder realizar la fórmula de temperatura superficial LST se debe hacer una serie de cálculos previos, todo esto mediante una aplicación que permita la obtención y traducción de estos metadatos. La plataforma utilizada fue Qgis en donde se procede al ingreso de las bandas a utilizar (4, 5 y 10), para poder calcular los datos que se requieren.

El cálculo de la temperatura superficial se hace siguiendo la explicación de la plataforma USGS, la cual genera un estudio en base a la metodología para calcular el LST, de libre uso y como ayuda para diferentes investigaciones, los datos son los siguientes:

1) Cálculo de radiancia espectral TOA

Se utiliza la banda 10,esta contiene la información de la temperatura que es una banda OLI, es decir una imagen operacional de la tierra, estos datos deben de ser re escalados por medio de Coeficientes de re evaluación radiométrica, que son proporcionados por los metadatos del archivo, para así poder obtener la radiancia espectral, de la siguiente manera:

$$TOA = M_L * Q_{cal} + A_L$$

M_L : Factor de reescalamiento multiplicativo (0,0003342)

Q_{cal} : Producto calibrado y calificado

A_L : Factor de reescalamiento aditivo específico de la banda

```
RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2939E-02
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.3250E-02
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.2210E-02
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 1.0296E-02
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.3005E-03
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.5669E-03
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.2812E-04
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1652E-02
RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.4624E-03
RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -64.69521
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -66.24868
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -61.04759
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -51.47877
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -31.50244
RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.83437
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.64060
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -58.25980
RADIANCE_ADD_BAND_9 = -12.31187
RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000
```

Figura N°47: Factores correspondientes a M y A
Fuente: Metadatos imagen landsat 8

2) Conversión de TOA a temperatura de brillo

Luego de obtener la radiancia espectral se debe de convertir a grados centígrados, para esto se necesita saber las constantes térmicas que contiene la imagen, los cuales están disponibles en sus metadatos.

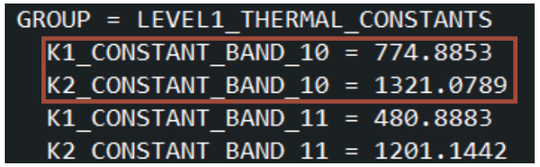


Figura N°48: Factores correspondientes a K1 Y K2
Fuente: Metadatos imagen landsat 8

Se utilizan las constantes K1 y K2 de la banda 10

Ya obtenidas las constantes se genera el cálculo con la siguiente fórmula:

$$BT = \frac{k_2}{In\,(\frac{k_1}{TOA} + 1)} - 273{,}15$$

Para obtener la conversión se ajusta sumando el cero absoluto (-273,15)

3) Calcular índice normalizado de vegetación (NDVI)

Para este paso se debe de utilizar las bandas visibles 4 y 5, esto mediante la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

NIR : Banda 5

R : Banda 4

3) Calcular Proporción de vegetación (Pv)

Ya teniendo el NDVI, se puede calcular la proporción de vegetación de la siguiente forma:

$$Pv = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}\right)^2$$

4) Cálculo de emisividad (ε)

La emisividad se cálculo debido a la ley de Plank, pues la emisividad de la tierra es un factor que escala la radiación de cuerpo negro, prediciendo la radiación emitida por la tierra. Esta viene a ser la proporción térmica que emite una superficie debido a su temperatura.

$$\varepsilon = 0{,}004 * Pv + \ 0{,}986$$

ε = 0.004*Pv+0.986

5) Cálculo de la temperatura superficial terrestre (LST)

Por ultimo se calcula la temperatura superficial terrestre, la cual se hace en base a los datos previamente desarrollados, como la temperatura de brillo y emisividad.
La fórmula es la siguiente:

$$LST = \frac{BT}{(1 + (\lambda * \frac{BT}{P}) * In\ \varepsilon)}$$

λ : 10.895

P : h*c ; ó=14388

Temperatura superficial LST

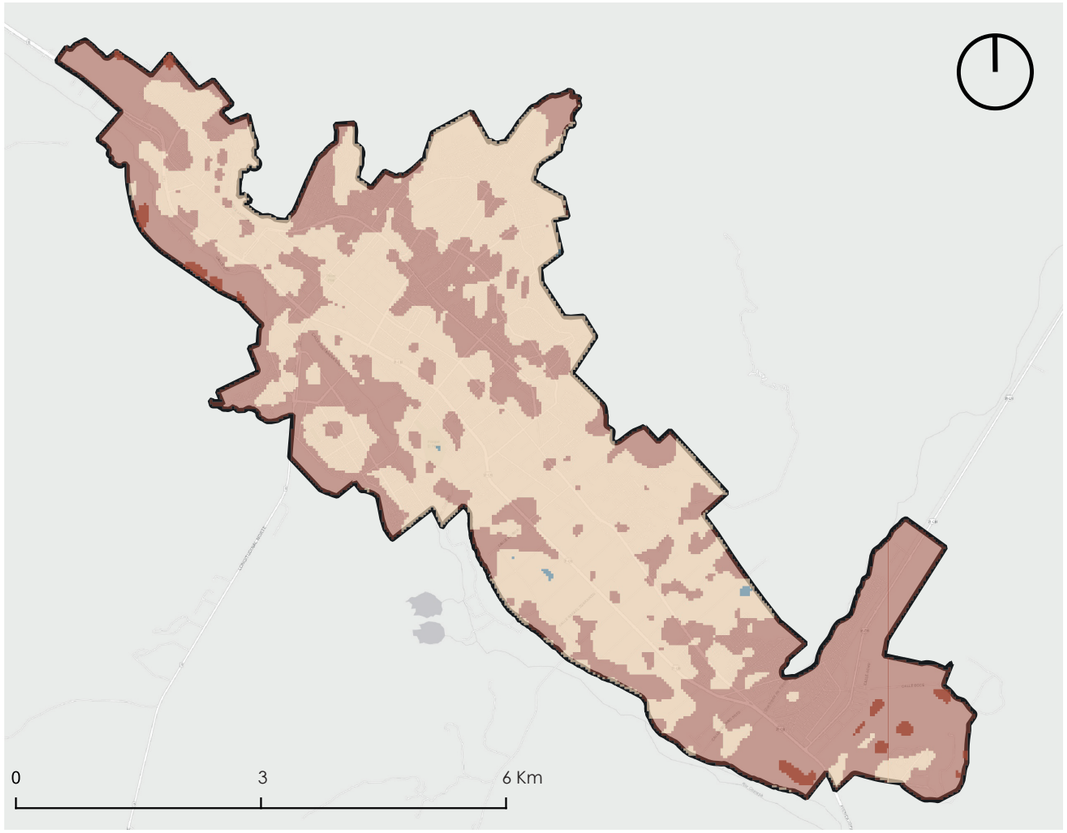


Figura N°49: Temperatura superficial terrestre (LST)
Fuente: Elaboración propia en base imagen landsat 8.

2.6 Categorización de la amenaza por islas de calor urbano

Finalmente se logra observar la temperatura superficial, sin embargo esta es procesada como una imagen raster, que contiene información de temperatura de pixel a pixel, debido a esto la imagen es procesada para poder identificar los sectores que contiene mayores temperaturas categorizándolas en cada manzana, para esto la imagen de la figura 49 es delimitada en cada sector de la ciudad, utilizando datos otorgados del CENSO 2017.

Primero se delimita la imagen raster para cada manzana de la ciudad, siendo un total de 1972 imágenes, correspondientes a la cantidad de manzanas. Cada imagen tiene la temperatura superficial correspondiente a su sector, la cual arroja la temperatura mínima y máxima registrada, todas estas cifras son anotadas en una tabla excel para poder realizar los cálculos que permitirán categorizar las islas de calor.

Luego de registrar todas las temperaturas se procede a clasificar la temperatura superficial en cada manzana, esto mediante el promedio en la ciudad. La clasificación se hace en una escala de 5 intensidades, como se muestra a continuación:

Escala	Tipo de zona	Formula
5	HOT SPOT	$LST > \bar{T} + 2 * \delta$
4	UHI	$\bar{T} + 0.5 * \delta < LST < \bar{T} + 2 * \delta$
3	NEUTRO	$\bar{T} - 0.5 * \delta < LST < \bar{T} + 0.5 * \delta$
2	UCI	$\bar{T} - 2 * \delta < LST < \bar{T} + 0.5 * \delta$
1	COLD SPOT	$\bar{T} - 2 * \delta > LST$

Figura N°50: Clasificación de zonas en base a la temperatura.
Fuente: Elaboración propia en base a artículo Identificación de patrones ambientales y morfológicos del fenómeno isla de calor en ciudades del Norte de Chile

Temperatura maxim	Temperatura minin	Temperatura media	Desviacion	T+2*X	T+0,5*X	T-0,5*X	T-2*X
34,200363	29,238304	31,7193335	0,701569289	31,25666214	30,20430821	29,50273892	28,45038499
35,523457	26,757437	31,140447	promedio				
31,4664321	29,325562	30,39599705	29,85352357				
29,233654	27,254028	28,243841	N				
31,15416	28,206059	29,6801095	1976				
30,478144	29,0811915	29,77966775					
28,995922	28,073465	28,5346935					
30,659889	29,493071	30,07648					
30,078815	29,090809	29,584812					
33,092953	31,380651	32,236802					
31,059298	28,513687	29,7864925					
34,504723	28,608376	31,5565495					
34,504723	28,608376	31,5565495					
32,652836	32,189251	32,4210435					

Figura N°51: Cálculo de zonas en la ciudad
Fuente: Elaboración propia por medio de excel

Se puede observar el registro de las temperaturas máxima y mínimas de cada manzana, en base a estas se saca el promedio de cada sector, como también del límite construido, para luego desarrollar los cálculos para la clasificación.

Clasificación mediante excel de tipo de manzana

Datos	Hot Spot	UHI	Neutro	UCI	Cold spot
1	SI	NO	NO	NO	NO
2	NO	SI	NO	NO	NO
3	NO	SI	NO	NO	NO
4	NO	FALSO	FALSO	FALSO	SI
5	NO	FALSO	SI	SI	NO
6	NO	FALSO	SI	SI	NO
7	NO	FALSO	FALSO	SI	NO
8	NO	FALSO	SI	SI	NO
9	NO	FALSO	SI	SI	NO
10	SI	NO	NO	NO	NO
11	NO	FALSO	SI	SI	NO
12	SI	NO	NO	NO	NO
13	SI	NO	NO	NO	NO
14	SI	NO	NO	NO	NO
15	SI	NO	NO	NO	NO
16	SI	NO	NO	NO	NO
17	SI	NO	NO	NO	NO
18	SI	NO	NO	NO	NO
19	SI	NO	NO	NO	NO

Figura N°52: clasificación tipo de manzana
Fuente: Elaboración propia por medio de excel

2.7 Análisis de resultados de islas de calor urbano en la ciudad

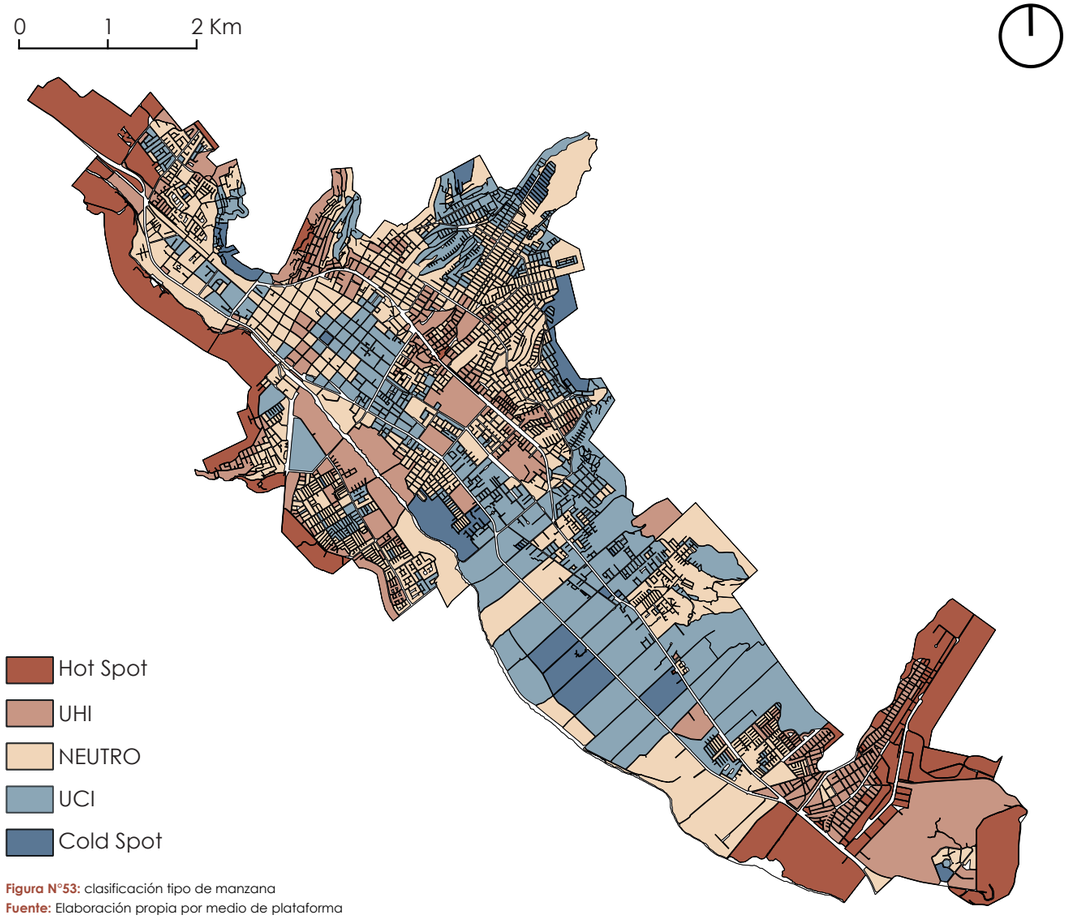


Figura N°53: clasificación tipo de manzana
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis

Finalmente se tiene que la amenaza por concentración de temperaturas, en islas de calor esta mayormente concentrada en sectores periféricos nor este y sur oeste de la ciudad.

Se considera la presencia de islas de calor urbana, como las zonas con una intensidad de amenaza alta y muy alta, donde se obtiene que hay 492 manzanas clasificadas en este rango, correspondientes al 25 % de la ciudad, mientras el menor porcentaje esta en el rango de zonas de frescor, teniendo solo un 2,23% .

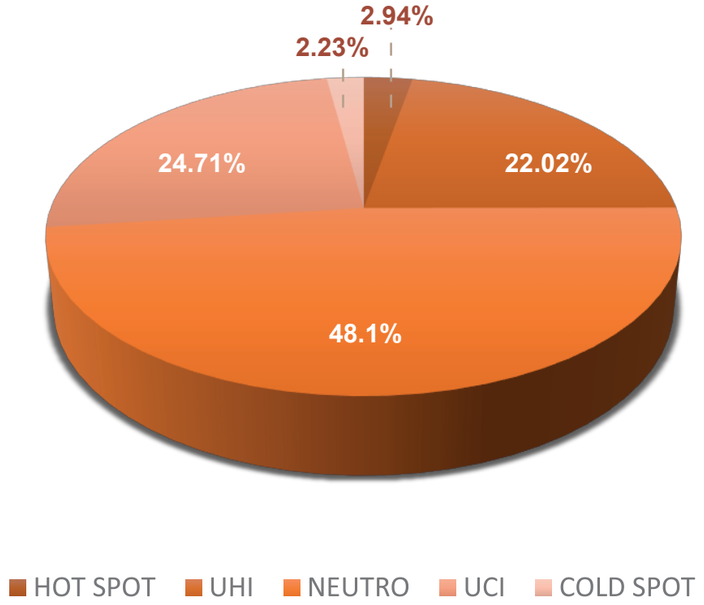


Figura N°54: Islas de calor por porcentaje en la ciudad
Fuente: Elaboración propia por medio de excel

UHI: 22.02%

HOT SPOT : 2.94%

492 Manzanas representan islas de calor

Solo el 2,23% corresponden a zonas de frescor

CAPÍTULO 3: Categorización de la Vulnerabilidad como factor de riesgo

3.1 La ciudad y sus factores de vulnerabilidad

La "Vulnerabilidad" es una palabra compuesta, pues se refiere a un conjunto de factores o variables que, al combinarse, hacen que un sector sea más susceptible ante una amenaza. Debido a la diversidad de estas variable, se creó una categorización en diferentes grupos, los cuales son: Vulnerabilidad física, económica, técnica, ambiental y social, esta última se puede dividir en subcategorías como política, ideológica, cultural, educativa e institucional, propuestos por Wilches Chaux en 1993.

Para llevar a cabo un análisis de vulnerabilidad, fue necesario realizar un estudio que permitiera seleccionar de manera consciente las variables que influyen en el mayor riesgo al presentarse cada una de las amenazas. Estas variables fueron evaluadas por diferentes expertos en las áreas correspondientes, quienes determinaron la importancia de cada factor seleccionado utilizando una metodología cuantitativa denominada análisis jerárquico AHP.

Cada variable se define dependiendo de un subgrupo que la caracteriza (Figura 55) y se calcula en un sistema lineal uniforme que permite mantener cada elemento estudiado en una misma unidad de medida. Esto se traduce en una escala de intensidad de 5 niveles, lo cual facilita una evaluación aislada de cada componente, pero con la característica común de dicha escala. Posteriormente se genera un cálculo de vulnerabilidad global.

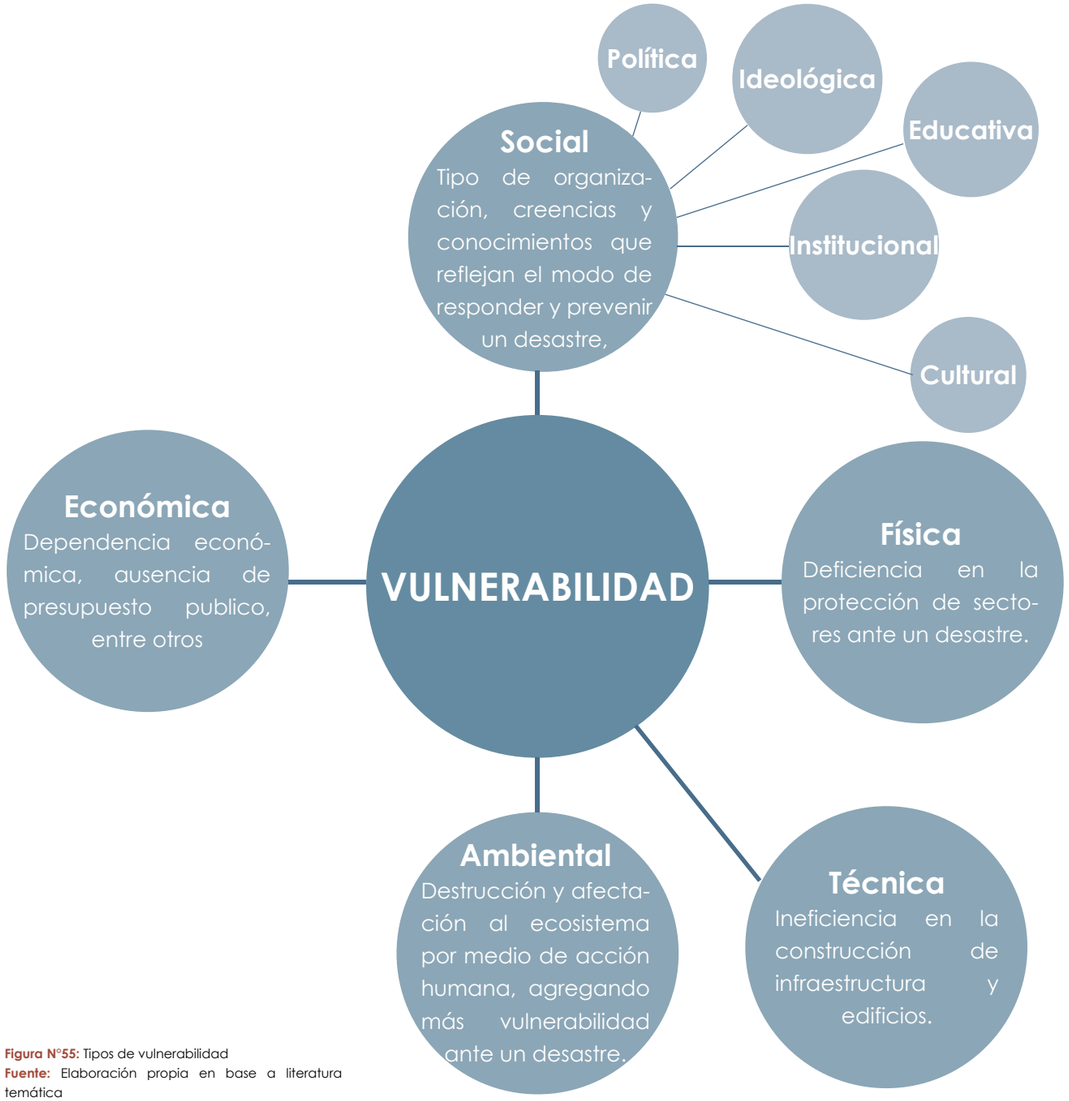


Figura N°55: Tipos de vulnerabilidad
Fuente: Elaboración propia en base a literatura temática

3.2 La ciudad y sus factores de vulnerabilidad frente a aluviones

La ciudad de Copiapó ha enfrentado una escasez hídrica constante en los últimos años, sumada a su clima semiárido. Uno de los primeros factores de vulnerabilidad identificados es la humedad del suelo, pues un suelo con alto porcentaje de humedad tiene una mayor capacidad de absorción, mientras que un suelo más seco o impermeable tiene una saturación más rápida, incrementando el riesgo de movimientos de agua y tierra. Está situación ha contribuido a que sucedan desastres aluvionales en la ciudad, donde la saturación del suelo ha desencadenado en flujos de barro y escombros.

Además de la escasez hídrica, la ciudad presenta una falta considerable de áreas verdes, lo cual está relacionado con el tipo de suelo predominante. Copiapó tiene uno de los índices más bajo a nivel país de espacios con áreas verdes en relación con su tamaño. Esta distribución marca una gran segmentación, el ingreso tiende a disminuir a medida que nos aproximamos a las periferias, como también estas áreas verdes, pues estas se concentran mayormente en el centro.

Otro factor es el crecimiento urbano constante, que ha llevado a una expansión en las periferias de la ciudad debido a la escasez y enriquecimiento de suelos disponibles en áreas más centrales. Esto representa un aspecto importante en cuanto a la vulnerabilidad

pues estas zonas carecen de infraestructura adecuada y por lo tanto, están más expuestas a riesgos potenciales como el deslizamiento de tierra, igualmente sectores cercanos a riveras de río, esta situación contribuye a la marginalidad y el hacinamiento urbano que afecta negativamente a la población y aumenta su vulnerabilidad ante este tipo de desastres.

La materialidad y la infraestructura son otros factores importantes a considerar en cuanto a la vulnerabilidad, pues diferentes estudios realizados en la ciudad, tras eventos pasados, como los registrados en 2015 y 2017, han demostrado que las viviendas más afectadas fueron aquellas construidas con materiales como la madera y adobe, en comparación con aquellas construidas en concreto y albañilería. Esto subraya una notable diferencia de vulnerabilidad según la calidad de las viviendas.

"En el caso de la ciudad de Copiapó, en la que la mayor parte de sus viviendas son de uno o dos pisos, los materiales de construcción mayoritarios son albañilería y bloque de concreto, aunque también de forma importante encontramos edificaciones de madera y adobe. Estas últimos fueron las que sufrieron mayores daños durante el 25M, resultando en un alto porcentaje de ellas dañadas de forma irreparable o mayor."*(Aluviones y resiliencia en Atacama. Construyendo saberes sobre riesgos y desastres, 2018)"*

Además, el centralismo que existe en las ciudades en cuanto a la distribución de servicios básicos es crucial a la hora de un desastre, ya que la mayor cantidad de servicios como hospitales y estaciones policiales se encuentran cercanas al centro, esto representa una vulnerabilidad significativa para las poblaciones más alejadas, debido a que estas al estar distantes, dificulta la capacidad de respuesta de las instituciones y también el acceso a la ayuda en caso de desastres.

En resumen, Copiapó presenta una gran cantidad de variables, que van sumando a la vulnerabilidad que existe, los cuales incluyen la escasez hídrica, falta de áreas verdes, crecimiento urbano no planificado, centralización de servicios. Los cuales se agregan en la siguiente tabla, para lograr una medición de cada uno, en base a diferentes fuentes de información.

Figura N°56 : Criterios de elección
Fuente: Elaboración propia en base a literatura temática

FACTOR	VARIABLE	MOTIVO	FUENTE
Técnico	Materialidad e infraestructura	Otorga protección ante una amenaza, se registro en la ciudad que fue una variable importante de daño, viviendas de adobe y materiales ligeros tuvieron un mayor daño.	Microdatos CENSO 2017 - Dato vecino - Materialidad e infraestructura
Social	Edad	Adultos mayores y niños son más vulnerables, debido a que a medida que envejecemos la capacidad física y mental disminuye, mientras que en niños estas están empezando a desarrollarse.	Microdatos CENSO 2017 - Edad
Físico	Distancia servicios de salud	Son fundamentales a la hora de ocurrir un desastre, son un centro de ayuda a las personas.	Ministerio de salud, centros de salud Atacama https://saludresponde.minsal.cl/lugares-atacama/
	Pendientes	Facilitan el curso del agua y material antrópico, ademas dificultan la movilidad de las personas.	Mapa a partir de imagen DEM (Modelo digital de elevación), sacada desde sitio web: Alaska satélite facility. https://search.asf.alaska.edu/#/
	Permeabilidad	Mientras menos permeable sea el suelo, menos capacidad de absorción tiene, generando un mayor flujo de agua.	Mapa a partir de imagen Landsat 8 con calculo de NDWI
Económico	Hacinamiento	Mayor concentración de personas, debido a la demanda habitacional	Déficit habitacional cuantitativo https://storymaps.arcgis.com/sto-

3.3 La ciudad y sus factores de vulnerabilidad frente a islas de calor urbano

"Las altas temperaturas del verano se pueden llegar a sentir más intensas dentro de las llamadas "Islas de calor", las cuales son áreas más cálidas que se dan en áreas de construcciones de alta densidad y carentes de vegetación, causadas por la urbanización. (Diagnóstico de vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático, Ilustre municipalidad de Santiago, 2014)"

Las islas de calor representan las áreas con mayor concentración de temperatura dentro de la ciudad. En el caso de Copiapó, estas tienden a concentrarse en las zonas periféricas, donde la vegetación es baja tanto al interior como exterior de la ciudad. Esta situación se ve agravada por la escasez hídrica y la cantidad de infraestructura urbana gris que existe, siendo estas las causantes principales de la formación de islas de calor urbano. En climas mediterráneos, por ejemplo, estas islas tienden a concentrarse más en sectores centrales, pues el clima de estas ciudades favorece al crecimiento natural de la vegetación. En estas áreas, la infraestructura gris y los suelos con mayor reflectancia son prevalentes. Sin embargo, en climas como el de Copiapó, las áreas con mayor reflectancia son aquellas que tienen poca o ninguna intervención humana, donde el suelo seco facilita la formación de islas de calor en la periferia, siendo estas áreas con menos inversión en cuanto a infraestructura vial y recreativa como plazas para sus habitantes.

A medida que va pasando el tiempo, los cambios de temperatura han ido en aumento, y esto podría generar sectores con condiciones térmicas más extremas y que pueden ser potencialmente dañinas para la salud. Factores como la segregación impactan en la calidad de vida de los habitantes, lo cual se refleja en una urbanización limitada, con una menor inversión tanto en materiales como en infraestructura, acceso limitado a servicios básicos como el agua potable, centros de salud y acceso a áreas verdes. Esto ya mencionado como un conflicto de la ciudad, puesto que estos tienden a estar en sectores con un alto ingreso y centros urbanos. Estos espacios tienen la ventaja de que proporcionan sombra y una mayor oxigenación, disminuyendo así la temperatura y riesgo como golpes de calor e insolación.

Otros factores para tomar en cuenta son aquellos que limitan particularmente a las personas, tales como la edad de los residentes, pues los niños pequeños y adultos mayores son más propensos a sufrir daños por las altas temperaturas. Además, se toma en cuenta la cantidad de personas que residen en un sector, puesto que factores como el hacinamiento generan que en un sector se concentre más el calor, y produzca sensaciones como el estrés térmico.

Dicho esto, se han identificados diferentes variables que pueden lograr una evaluación de vulnerabilidad ante las islas de calor, dichas variables son mostradas en la siguiente tabla, la cual contiene la variable, su justificación y la fuente en que se está basando la información levantada.

Figura N°57: Criterios de elección
Fuente: Elaboración propia en base a literatura temática

FACTOR	VARIABLE	MOTIVO	FUENTE
Técnico	Materialidad e infraestructura	Se utilizan el catastro de viviendas, en donde las que tienen una mayor vulnerabilidad son las de material ligero.	Microdatos CENSO 2017 - Dato vecino - Materialidad e infraestructura.
Social	Edad	Adultos mayores y niños son más vulnerables, son más procesos a sufrir de deshidratación y golpes de calor.	Microdatos CENSO 2017 - Edad.
	Distancia servicios de salud	Son fundamentales a la hora de ocurrir un desastre, son un centro de ayuda a las personas.	Ministerio de salud, centros de salud Atacama. https://saludresponde.minsal.cl/lugares-atacama/
Físico	Acceso a agua potable	La falta de agua potable afeccta, debido a que sin esta la persona no puede hidratarse ni refrescarse, siendo aun más propensa a sufrir daños como la deshidratación e insolación.	Microdatos censales CENSO 2017 - Dato Vecino - Red de suministro de agua
	Áreas verdes	Otorgan una mayor cantidad de sombra y frescor a su entorno debido a la evapotranspiración.	Se identifican los parques y plazas en la ciudad a partir de google maps.
	Calidad de aire	Al existir un ambiente más contaminado aumentan la temperatura.	Concentración de Pm 10 a partir de las estaciones meteorológicas del sector. https://aqicn.org/map/copiapo/es/

3.4 El uso del análisis multicriterio para la categorización de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad es un concepto complejo que comprende múltiples variables, las cuales deben ser categorizadas y evaluadas para poder generar una evaluación global de este factor. De esta forma, se toma la opción de calcularlas mediante la metodología AHP (Analytic Hierarchy Process) creada por Thomas Saaty. Este es un método matemático que permite integrar la opinión de expertos y decisiones en base a criterios múltiples, que van a lograr generar una asignación de pesos a cada variable en función de su importancia para cada amenaza estudiada.

Para utilizar este método debe de generarse una pregunta u objetivo principal, que será desglosado en subcategorías, que son las cuestionables que se le hace al grupo encuestado. Esta encuesta genera una comparativa de los elementos, que en este caso serian las variables de vulnerabilidad, a través de una descomposición jerárquica que logra categorizar cada elemento por medio de la comparación de estos. Por ejemplo, se compara cada elemento en pares (Fila A contra fila B), en donde la fila A solo tiene un elemento, mientras que en la fila B están los restantes, logrando de esta forma comparar todos los elementos entre sí, obteniendo todas las combinaciones posibles, la lógica de esto es "que la forma más efectiva de concentrar un juicio sobre algo es tomar sólo dos elementos y compararlos entre sí respecto a una sola propiedad y dejando de lado todas las demás (Saaty, 1990)."

Para poder estructurar la comparación, se realiza la encuesta a expertos, en donde se les pide que comparen las variables de interés en pares, utilizando una escala de comparación con una intensidad que va del 1 al 9. Por ejemplo, en la encuesta se podría preguntar si la falta de áreas verdes tiene un impacto mayor en la vulnerabilidad que la calidad de la infraestructura, en donde el encuestado debe de seleccionar si cree que es afirmativo u negativo asignando un nivel de intensidad, en donde 1 indica que ambos tienen el mismo nivel de importancia, mientras que 9 indica que tiene una importancia muy superior, esto permite definir las prioridades en cuanto a las variables, asignándoles este peso a cada una de manera objetiva.

En conclusión, el método contiene las siguientes características principales:

Descomposición: Permite descomponer el objetivo en un análisis más sencillo, por medio de subcategorías o subgrupos.

Juicio comparativo: Facilita la comparación en pares que logra generar un criterio por todas las combinaciones posibles.

Comparación jerárquica: Una vez obtenida todas las encuestas se generan los resultados globales, sacando la jerarquización de elementos.

Consistencia: Si se tiene una comparación entre dos elementos estos deben tener un criterio lógico en su respuesta. Por ejemplo, si tenemos un elemento A que es mayor a un elemento B y B es mayor a C, quiere decir que el elemento A debe ser mayor a C. Además si A es evaluado como el doble de importante de B y B es dos veces mayor a C, entonces A tiene que ser 4 veces más importante que C, esto logra una consistencia en todos los elementos y combinaciones.

Una vez realizadas todas las encuestas y recopiladas las respuestas, se puede calcular el peso de cada variable. Este peso será proporcional a la contribución de la variable a la vulnerabilidad en la ciudad, de modo que la suma total será del 100%. Por ejemplo, se puede determinar que la variable A representa el 30% B, C y D el 20% cada una, y E el 10%, sumando un total de 100%, con la variable A destacándose como la de mayor importancia.

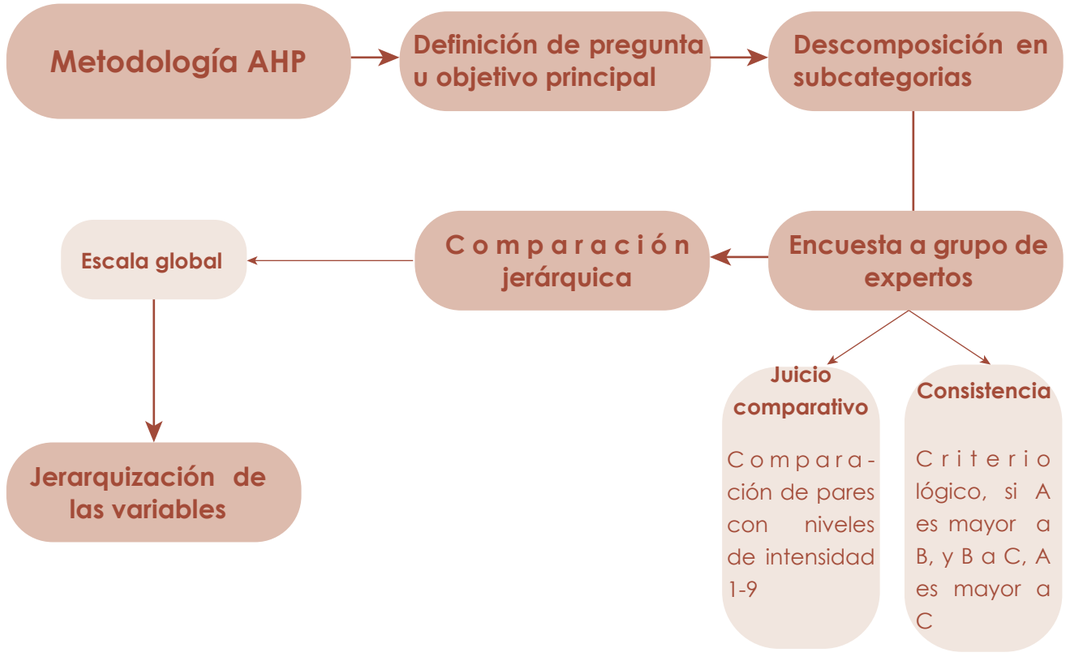


Figura N°58: Análisis jerárquico AHP
Fuente: Elaboración propia en base a literatura temática

3.5 Metodología AHP para variables de vulnerabilidad ante aluviones

Para este caso se realizó una encuesta mediante un formato excel, cuyo objetivo era jerarquizar cada variable elegida en relación con los desastres aluvionales. Esto permitió categorizar cada variable y calcular la vulnerabilidad global.

Para el grupo de expertos se generó una búsqueda de profesionales que tuvieran como característica, haber presenciado y estudiado el caso de la ciudad o de sectores que tuvieran semejanzas en cuanto a eventos. Por lo cual se empieza a identificar diferentes instituciones que han sido participes en análisis y ayuda en cuanto a desastres.

Finalmente se logró la participación de un total de seis personas las cuales incluyen profesionales de instituciones públicas como Senapred, subsecretaria ministerial de medio ambiente de Atacama, Ministerio de vivienda y urbanismo y fundación techo para Chile.

La encuesta consistió en una comparativa entre dos filas, A y B, las cuales estuvieron compuestas por las diferentes variables elegidas. Los participantes debían indicar cuál de las variables comparadas consideraban más importante en el contexto de desastres aluvionales.

En la figura 59 se puede observar una encuesta respondida, en donde están las variables escogidas y su escala.

En base a esa respuesta debía de categorizar cuál era su nivel de importancia frente a la otra, esto mediante la escala de intensidad.

		Criteria		more important ?	Scale
i	j	A	B	A or B	(1-9)
1	2	Materialidad e infraestructu	Permeabilidad del suelo	A	3
1	3		Pendiente	A	1
1	4		Distancia a centros de	A	5
1	5		Porcentaje de	A	1
1	6		Edad	A	3
1	7			A	
1	8			A	
2	3	Permeabilidad del suelo	Pendiente	B	5
2	4		Distancia a centros de	A	3
2	5		Porcentaje de	A	1
2	6		Edad	A	2
2	7			A	
2	8			A	
3	4	Pendiente	Distancia a centros de	A	3
3	5		Porcentaje de	A	1
3	6		Edad	A	3
3	7			A	
3	8			A	
4	5	Distancia a centros de salu	Porcentaje de	B	3
4	6		Edad	A	3
4	7			A	
4	8			A	
5	6	Porcentaje de hacinamient	Edad	A	3

Figura N°59: Encuesta realizada para medir los pesos de las variables de vulnerabilidad
Fuente: Elaboración propia por medio de excel

Finalmente, ya teniendo todas las encuestas respondidas se calculan los pesos totales de cada una, obteniendo como resultado lo siguiente:

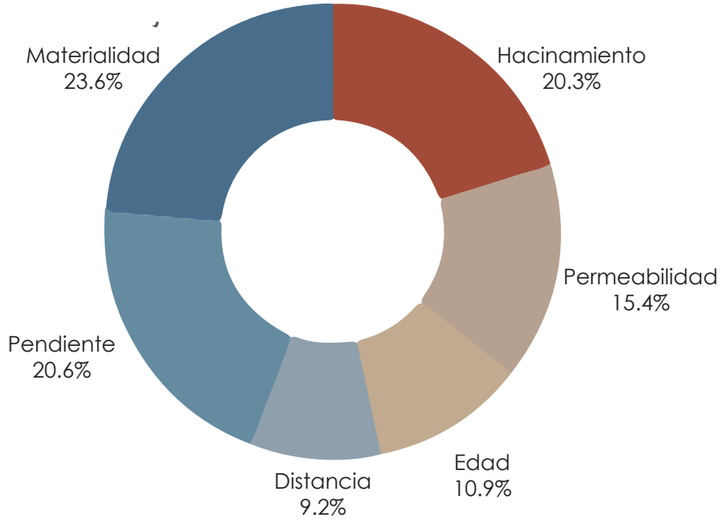


Figura N°60: Resultados análisis jerárquico AHP
Fuente: Elaboración propia

3.5.1 Desarrollo de mapa de materialidad e infraestructura

El desarrollo de las variables de vulnerabilidad se hizo mediante una escala de 5 niveles (escala linkert), esto con el fin de tener una homogeneidad en la unidad de medida en la cual se realizan todos los levantamientos, para posteriormente realizar una escala global que incorpore todos los antecedentes levantados.

En cuanto a la materialidad, se revisó en base a datos otorgados por CENSO 2017, que registra la materialidad en las viviendas de cada manzana de la comuna. Estas se dividen de la siguiente forma:

Variable	Nombre	Medición
Materialidad de Muros	Hormigón Armado	Numero entero
	Albañilería: Bloque de cemento, piedra o ladrillo.	
	Tabique forrado por ambas caras.	
	Tabique sin forro interior.	
	Adobe, barro, quincha o pirca.	
	Materiales precarios: Lata, cartón, plástico, entre otros).	

Figura N°61: Materialidad e infraestructura rango
Fuente: Elaboración propia

Como ya se ha mencionado, la materialidad que se ve mayormente afectada es el adobe, seguida de la tabiquería, mientras que las que tienen un menor daño son el hormigón seguido de la albañilería. Por lo tanto, la escala se realizó en base a la materialidad predominante existente en la manzana, en donde de existir predominancia de adobe y material precario tendría una intensidad de 5, mientras que si tenía una predominancia de hormigón armado la intensidad seria de 1.

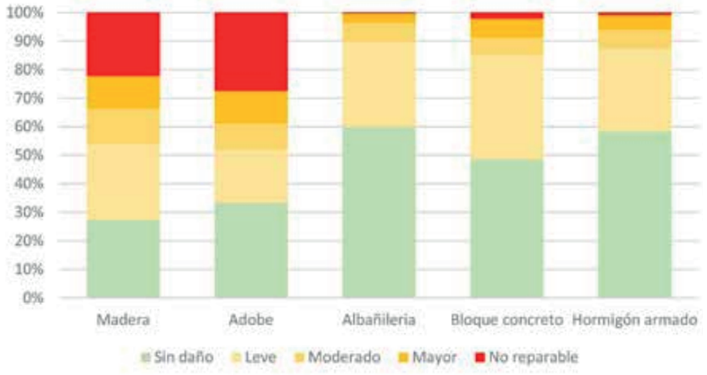


Figura N°62: Clasificación del daño sufrido en función de la materialidad de edificaciones afectadas por evento de 15 de marzo, ciudad de Copiapó.
Fuente: Aluviones y resiliencia en Atacama, construyendo saberes sobre riesgos y desastres, En base a catastro realizado por MINVU Atacama 2015.

De esta forma la escala se cálculo de la siguiente forma:

Escala	Nivel de Daño	Medición
1	Muy Baja	Mayor porcentaje de viviendas de Hormigón Armado
2	Baja	Mayor porcentaje de viviendas de albañilería
3	Mediana	Mayor porcentaje de viviendas de Madera con forro
4	Alta	Mayor porcentaje de viviendas de Madera sin forro
5	Muy Alta	Mayor porcentaje de viviendas de adobe y material deficiente

Figura N°63: Rangos vulnerabilidad por materialidad
Fuente: Elaboración propia en base a literatura temática

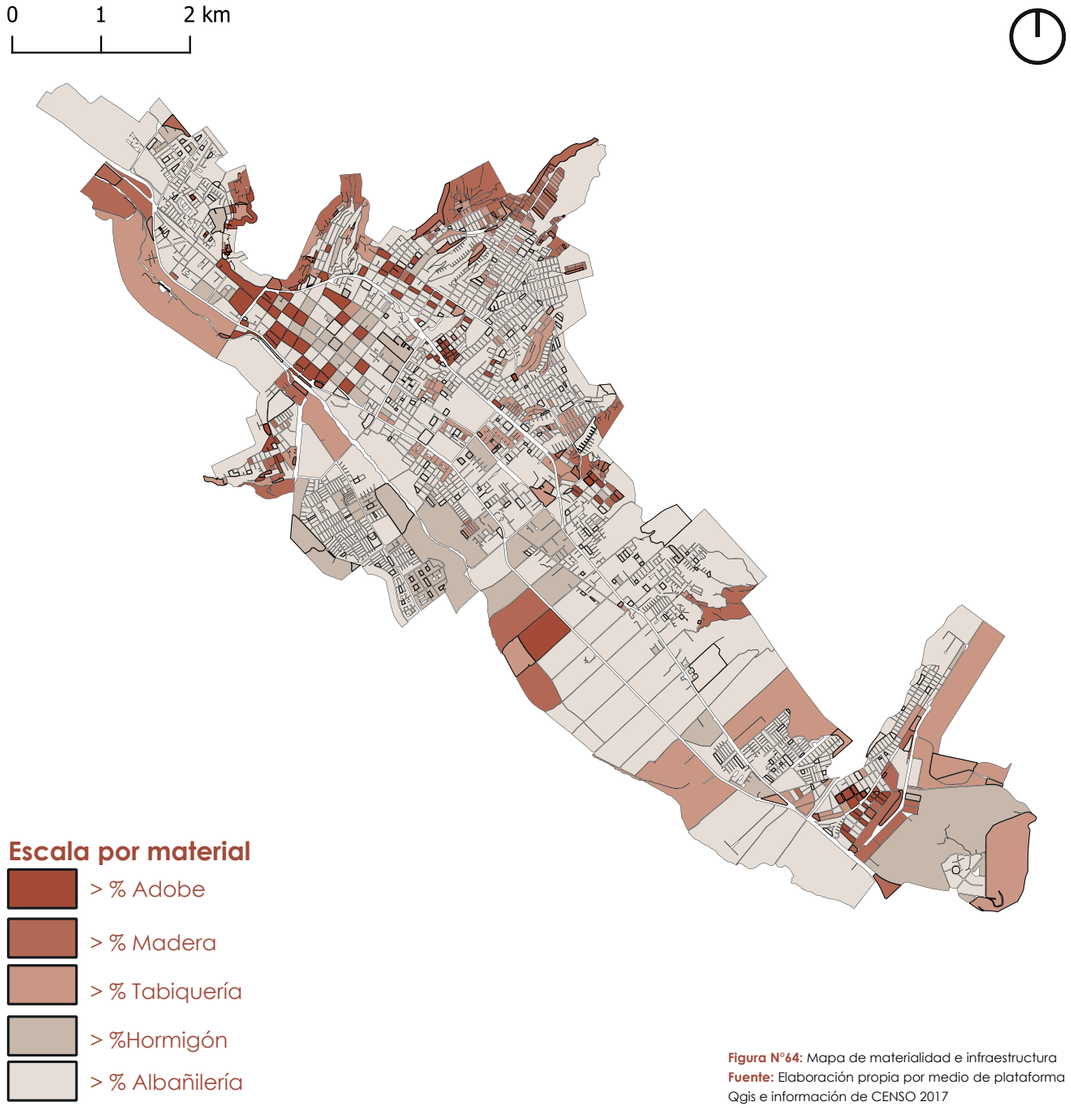


Figura N°64: Mapa de materialidad e infraestructura
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis e información de CENSO 2017

3.5.2 Desarrollo de mapa de pendientes

La pendiente se desarrolla en base a una imagen DEM, es decir una modelación del nivel de elevación, la cual entrega el porcentaje de pendiente por medio de una imagen raster, al igual que la imagen de LST, por lo tanto, en esta se realiza un procedimiento similar, en donde se delimita la imagen a nivel de manzana y en base a esto se genera un promedio de pendiente, para luego calcular el promedio general de la ciudad.

Para categorizar las intensidades se utiliza como base el promedio de la ciudad, siendo así cifras superiores a este una intensidad mayor, mientras que al ser inferior una intensidad menor, teniendo en cuenta que el porcentaje máximo de pendiente permitido para transeúntes es de 12%, y los máximos existentes en la ciudad alcanzan un porcentaje superior al 20%.

Escala	Intensidad	Medición
1	Muy Baja	Porcentaje
2	Baja	
3	Mediana	
4	Alta	
5	Muy Alta	

Figura N°65: Rango de vulnerabilidad en base al porcentaje de pendiente.
Fuente: Elaboración propia en base a literatura temática

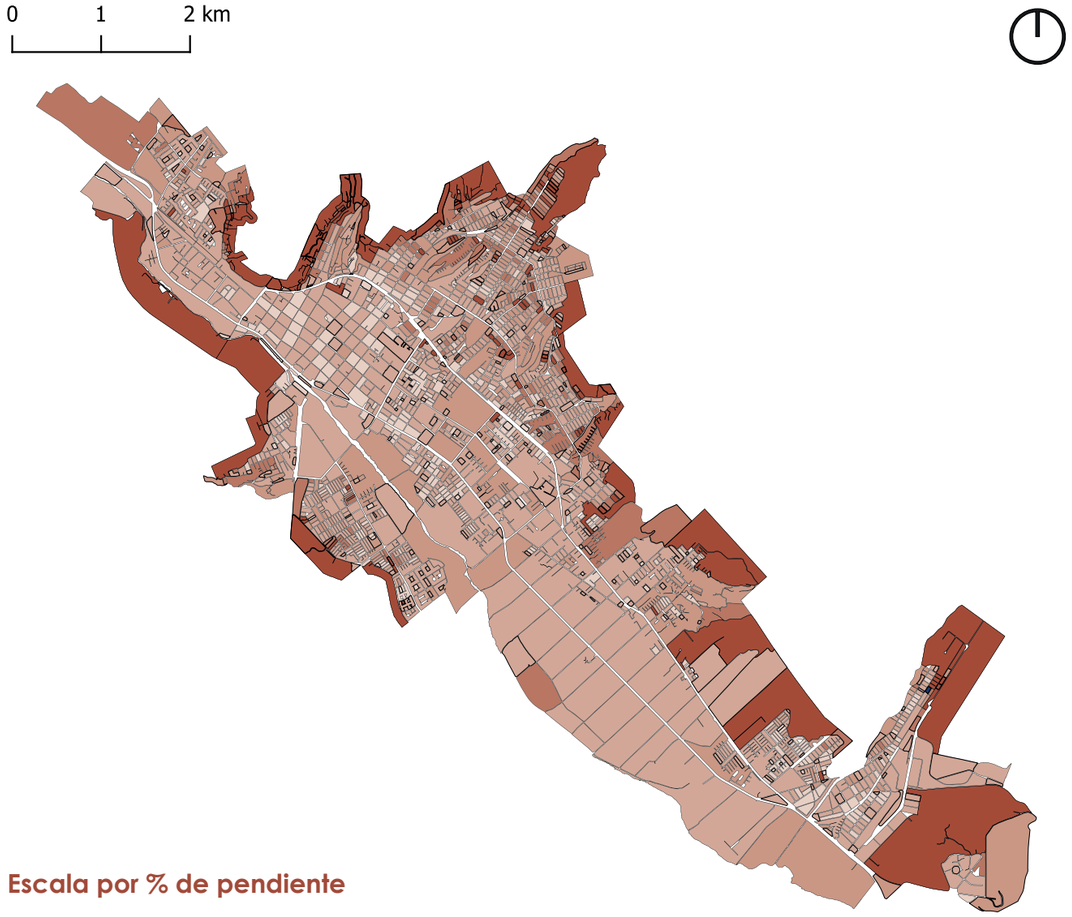


Figura N°66: Mapa de pendientes
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis

3.5.3 Desarrollo de mapa de permeabilidad

La permeabilidad se calculó a través de la teledetección, esto por medio de las imágenes Landsat 8 que serán desarrolladas para el levantamiento de NDWI.

El NDWI es el porcentaje de agua que contiene el suelo, y fue planteado por McFeeters en el año 1996, el cual utiliza las bandas NIR (5) y GREEN (3):

$$NDWI = \frac{Banda\ 3 - Banda\ 5}{Banda\ 3 + Banda\ 5}$$

El NDWI tiene diferentes valores asignados que van desde el -1 al 1, estos se desarrollan en la siguiente tabla:

Escala	Valores	Tipo
1	0,5 - 1	Zonas con cuerpos de agua
2	0,2 - 0,5	Zonas con vegetación y suelo permeable húmedo
3	0 - 0,2	Zonas de creciente vegetación
4	-0,2 - 0	Zonas de suelo seco, con sequía moderada y poca vegetación
5	-1 - -0,2	Zonas con suelo muy seco, con sequía

Figura N°67: Clasificación del daño sufrido en función de la permeabilidad
Fuente: Elaboración propia en base a literatura temática.

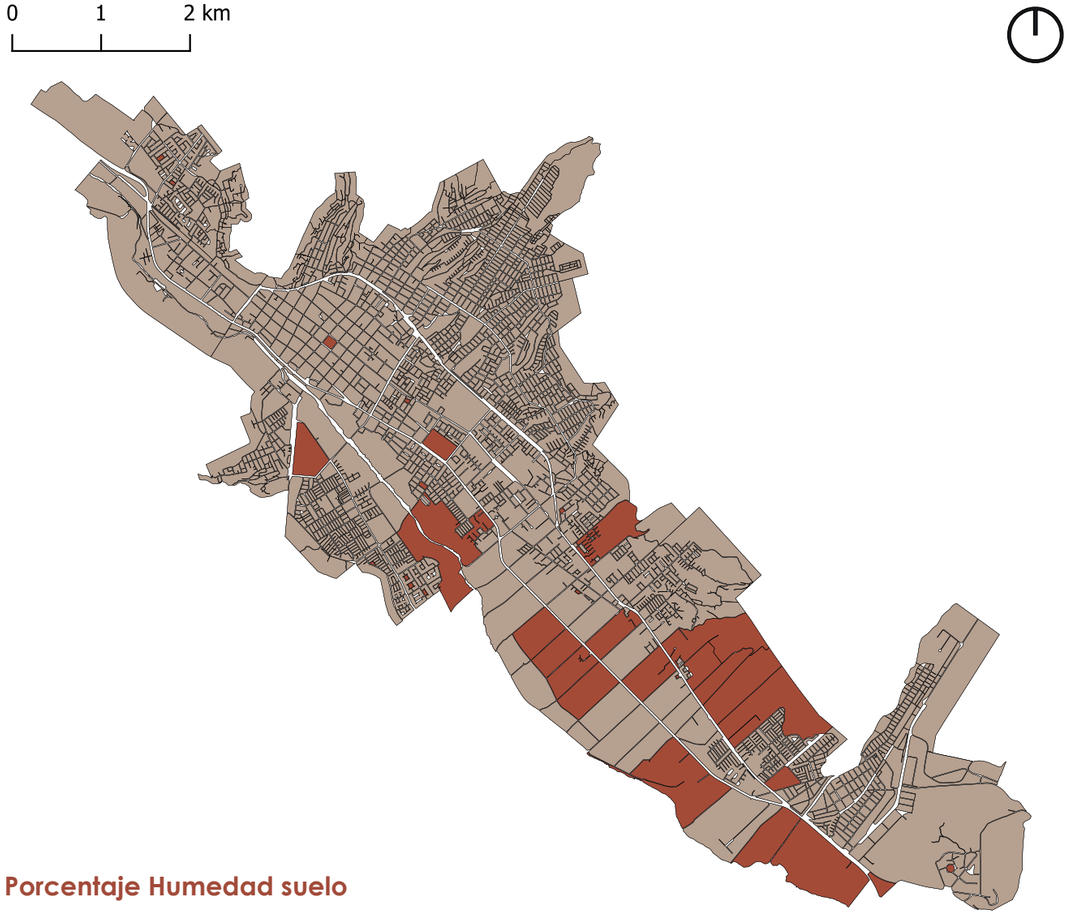


Figura N°68: Mapa de permeabilidad del suelo
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis

3.5.4 Desarrollo de mapa de edad

Se hace en base a los microdatos entregados por CENSO 2017, los cuales clasifican la edad en 4 rangos etarios.

Infantes: Corresponden a todos los habitantes menores a 5 años
Jóvenes: Corresponde a todos los habitantes entre 6 y 14 años
Adulto: Corresponde a todos los habitantes entre 14 y 65 años
Vejez: Corresponde a todos los habitantes mayores a 65 años.

Al generar la escala de intensidad de 1-5 se tomaron 2 criterios principales capacidad física y capacidad cognitiva. Por lo tanto, las personas más vulnerables son adultos mayores e infantes, siendo más propensas a sufrir daños en una catástrofe, seguidos de los jóvenes, pues su capacidad cognitiva aún se encuentra en desarrollo, mientras que los adultos llegaron a un desarrollo completo.

Escala	Vulnerabilidad	Conceptualización
1	Muy Baja	Mayor cantidad de adultos
2	Baja	Mayor cantidad de jóvenes
3	Mediana	Mayor cantidad de adultos con adultos mayores o infantes.
4	Alta	Mayor cantidad de jóvenes con adultos mayores o infantes.
5	Muy Alta	Mayor cantidad de infantes y adultos mayores en la manzana.

Figura N°69: Clasificación de vulnerabilidad en función de la edad
Fuente: Elaboración propia en base a rangos etarios CENSO 2017

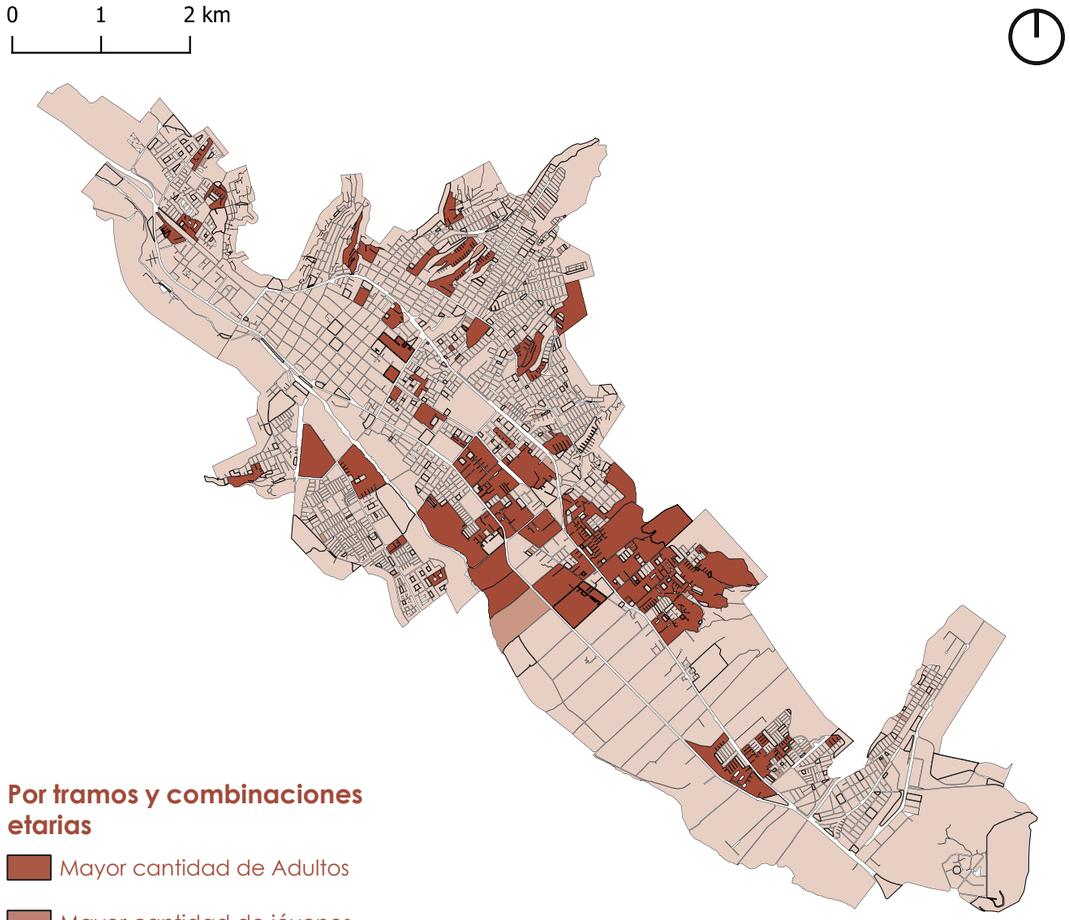


Figura N°70: Mapa de vulnerabilidad según la edad
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis

3.5.5 Desarrollo de mapa de Distancia a servicios de salud

Para el mapa de la variable de distancia a servicio de salud se utilizaron datos obtenidos desde Ministerio de la salud Atacama, en el cual se recopilan todos los establecimientos activos de la ciudad, estos datos posteriormente se georreferencian en la plataforma QGIS y se saca la distancia radial desde los establecimiento. Considerando a la literatura sobre el tema, se definen los siguientes criterios:

1) La distancia se mide en base a minutos caminando
2)Distancia hacia un servicio debe ser de máximo 20 minutos.
3)1 minuto caminando equivale a 80 metros.
4)Distancia óptima hacia un servicio es de 5 minutos (400 metros)

Escala	Distancia	Minutos caminando
1	0 - 400 metros	5 minutos
2	400 - 800 metros	5 - 10 minutos
3	800 - 1200 metros	10 - 15 minutos
4	1200 - 1600 metros	15 - 20 minutos
5	Mas de 1600 metros	Más de 20 minutos

Figura N°71: Clasificación de vulnerabilidad en función del distanciamiento a servicios de salud
Fuente: Elaboración propia en base a literatura temática

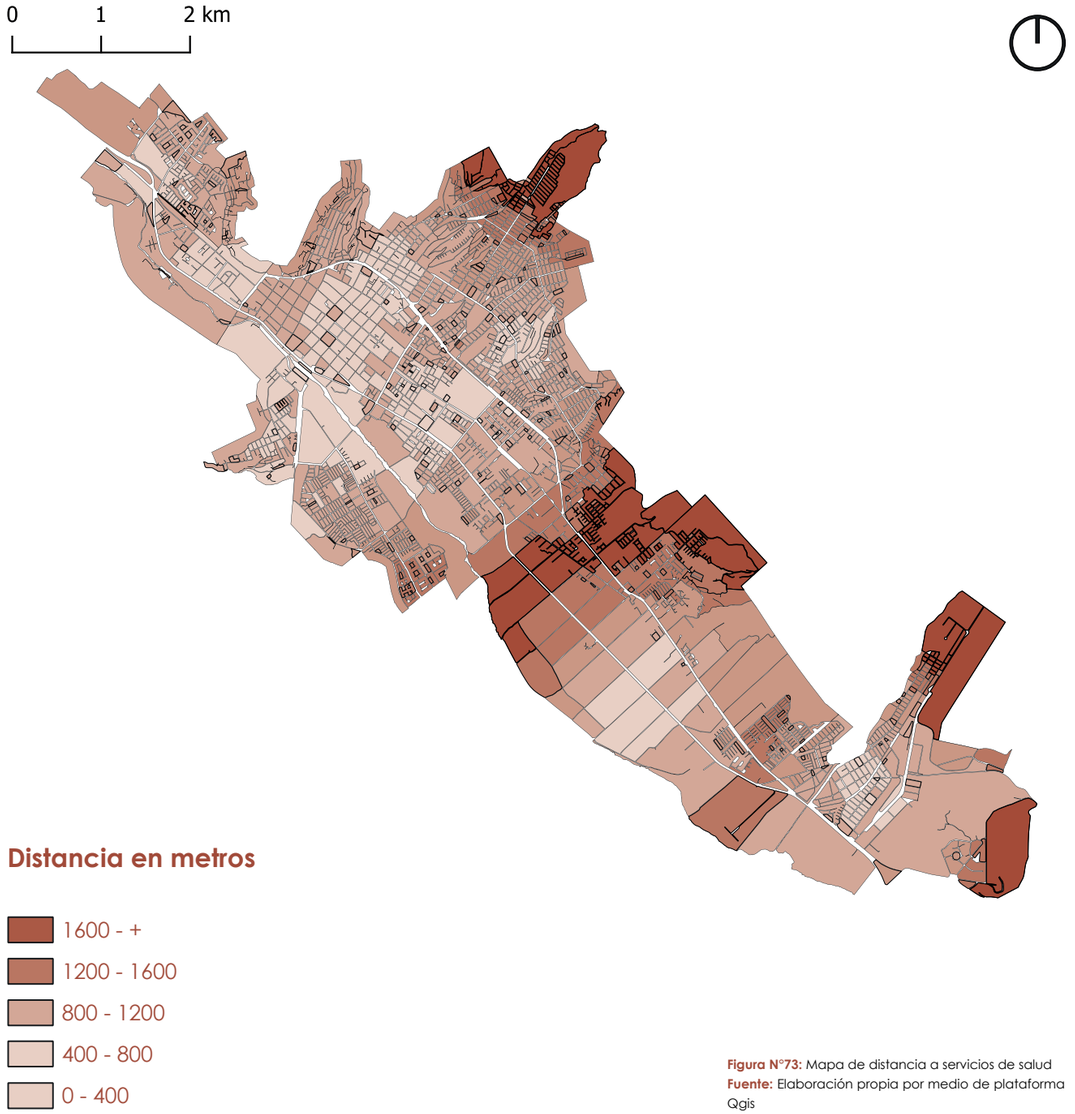


Figura N°73: Mapa de distancia a servicios de salud
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis

3.5.6 Desarrollo de mapa de hacinamiento

El hacinamiento se desarrolla en base a información cartográfica entregada por MINVU - centro de estudios de ciudad y territorio, el cual publica el déficit habitacional cuantitativo por zona censal en cada región del país, en base a Censo 2017.

Se informa que Copiapó es una de las comunas que mayor hacinamiento en la región.

La escala se calcula en base al promedio de hacinamiento en la ciudad, donde los sectores bajo esta tendrían una menor escala de vulnerabilidad, mientras que, si este es mayor tendría un aumento en la vulnerabilidad.

Escala	Intensidad	Medición
1	Muy Baja	Porcentaje
2	Baja	
3	Mediana	
4	Alta	
5	Muy Alta	

Figura N°74: Clasificación de vulnerabilidad en función del hacinamiento.
Fuente: Elaboración propia en base a literatura temática

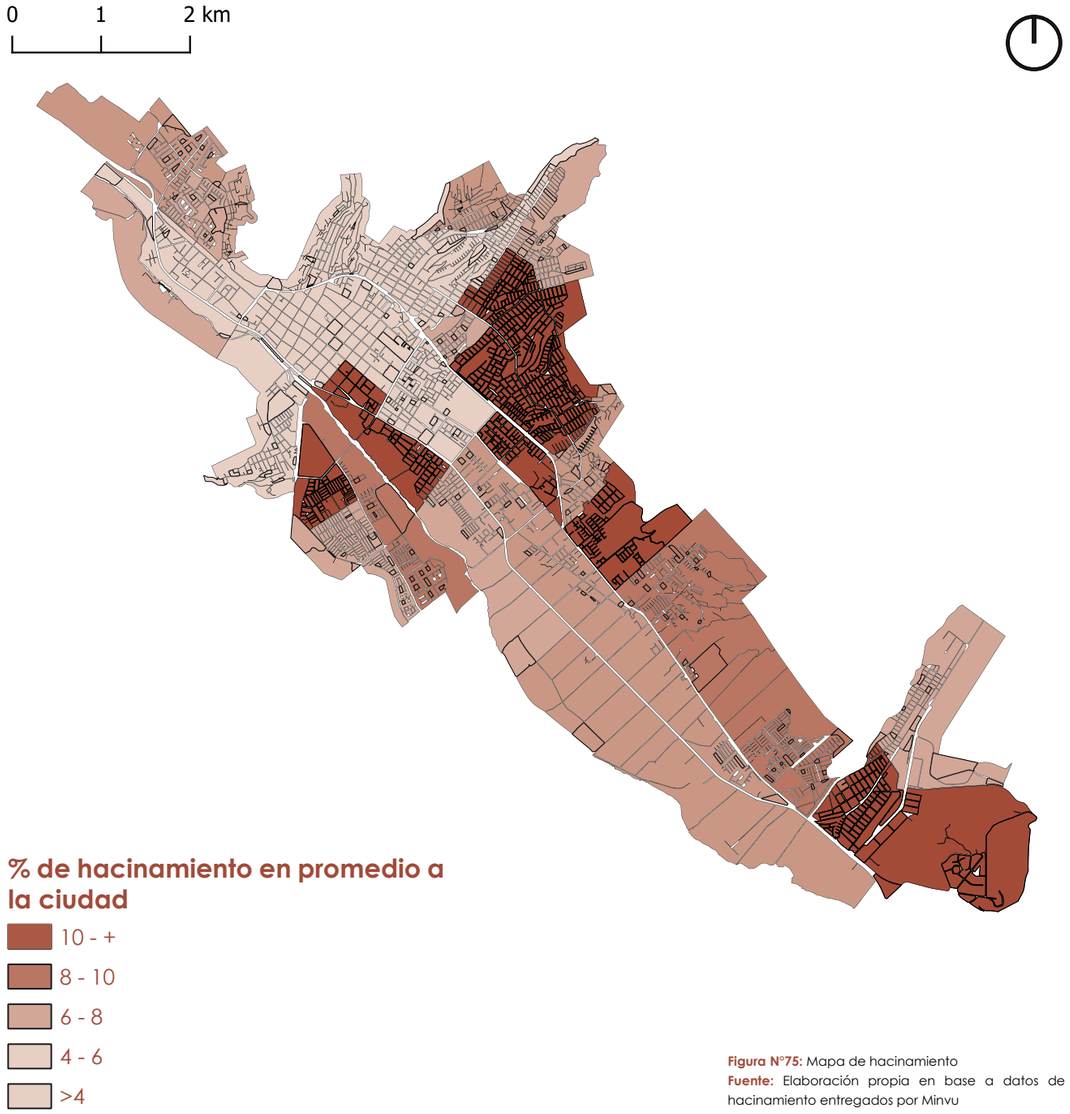
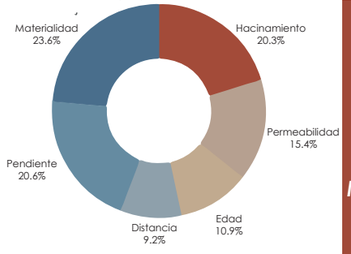


Figura N°75: Mapa de hacinamiento
Fuente: Elaboración propia en base a datos de hacinamiento entregados por Minvu

3.5.7 Desarrollo de mapa de vulnerabilidad ante aluviones

Finalmente, la vulnerabilidad global se calcula teniendo en cuenta el peso definido para cada variable (figura 76) y la intensidad que tiene cada una a nivel de manzana, de esta forma se tiene una vulnerabilidad que va a estar definida en una escala del 1 al 5, siendo esta el resultado de la sumatoria del producto que se tiene en cada variable, esto se explica en la siguiente tabla:

Figura N°76: Resultados de variables de vulnerabilidad según peso
Fuente: Elaboración propia



	Variables	Escala *	Peso	Producto
Manzana ejemplo	Materialidad	5	0.236	1.18
	Pendiente	4	0.206	0.824
	Permeabilidad	5	0.154	0.77
	Edad	4	0.109	0.436
	Hacinamiento	3	0.203	0.609
	Distancia a servicios de salud	4	0.092	0.368
Vulnerabilidad Global				4.187 = 4

Figura N°77: Clasificación de la vulnerabilidad global frente a desastres aluvionales
Fuente: Elaboración propia, en base a cálculo de vulnerabilidad global.

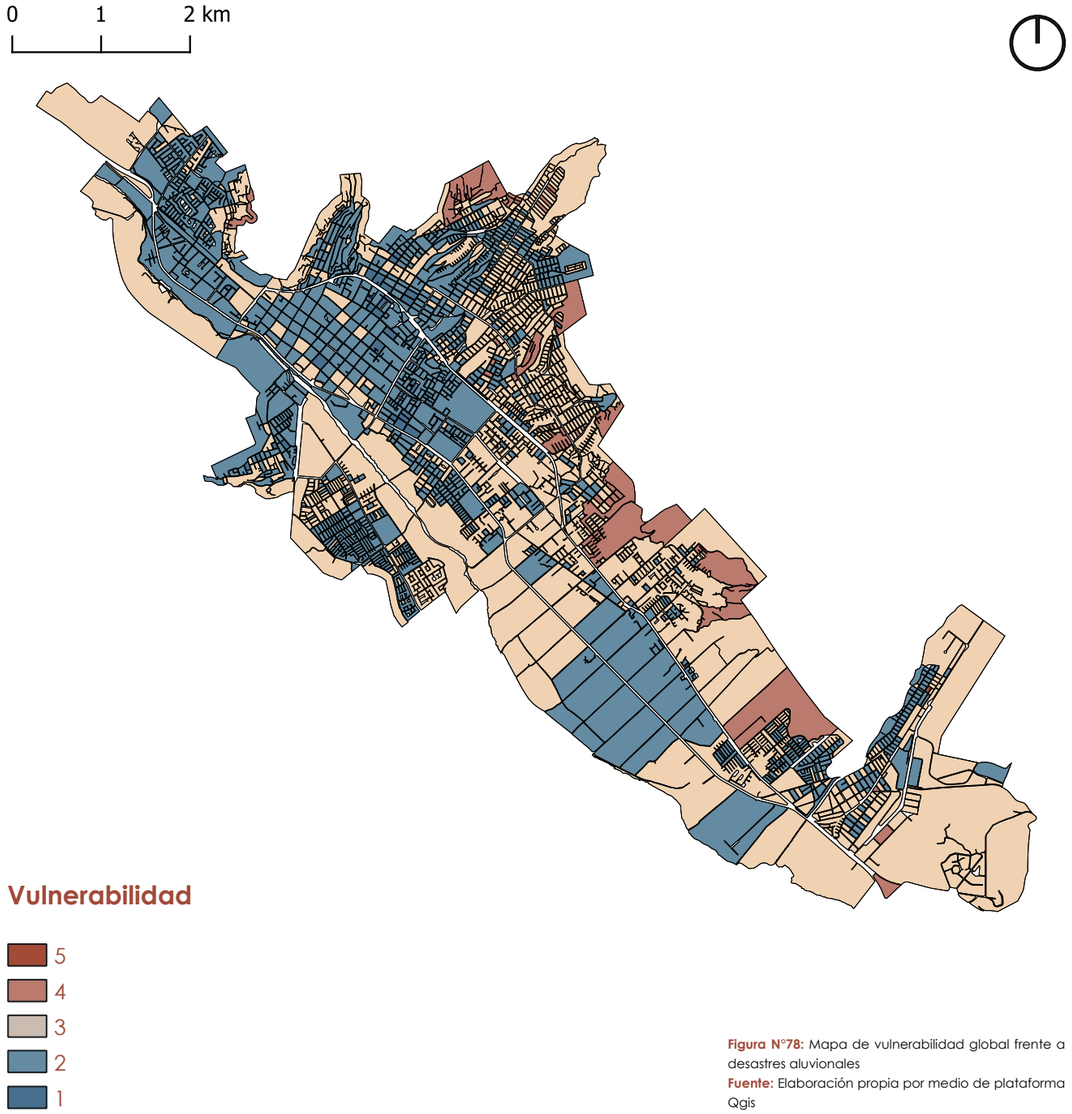


Figura N°78: Mapa de vulnerabilidad global frente a desastres aluvionales
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis

3.6 Metodología AHP para variables de vulnerabilidad ante islas de calor urbano

El objetivo de utilizar el método AHP en las islas de calor fue poder jerarquizar cada variable elegida para ver el nivel de importancia que tenía cada una frente al aumento y concentración de temperaturas y así poder calcular la vulnerabilidad global.

Para el grupo de expertos se buscó profesionales que tuvieran como característica, tener conocimiento sobre el tema de islas de calor y también sobre el clima y ciudad.

Finalmente se logró la participación de un total de 4 personas las cuales incluyen profesionales de instituciones públicas como subsecretaria ministerial de medio ambiente de Atacama y profesores especializados en el área de clima.

Finalmente, ya teniendo todas las encuestas respondidas se calculan los pesos totales de cada una, obteniendo como resultado lo siguiente:

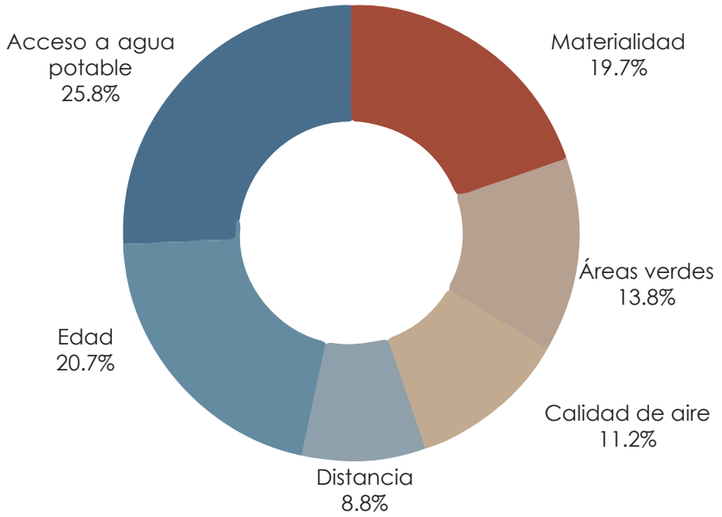


Figura N°79: Variables de vulnerabilidad según peso para islas de calor urbano
Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Análisis AHP

3.6.1 Desarrollo de mapa de Materialidad

La materialidad como factor de vulnerabilidad para el caso de islas de calor urbano tiene otros criterios de medición, pues para este tipo de amenaza la materialidad se estudia en base a la cantidad de absorción que esta posee.

Para categorizar las intensidades se toma en cuenta la calidad de la vivienda construida, donde se toma por tramo más vulnerable aquellas viviendas compuestas de material ligero y residual Mientras que las menos vulnerables vendrían a ser aquellas de materiales más robustos, como albañilería y hormigón armado.

Escala	Vulnerabilidad	Medición
1	Muy Baja	Mayor porcentaje de viviendas de Adobe
2	Baja	Mayor porcentaje de viviendas de albañilería
3	Mediana	Mayor porcentaje de viviendas de Hormigón armado
4	Alta	Mayor porcentaje de viviendas de Madera con forro
5	Muy Alta	Mayor porcentaje de viviendas de madera y material residual

Figura N°80: Clasificación de vulnerabilidad en función de la materialidad
Fuente: Elaboración propia en base a literatura temática

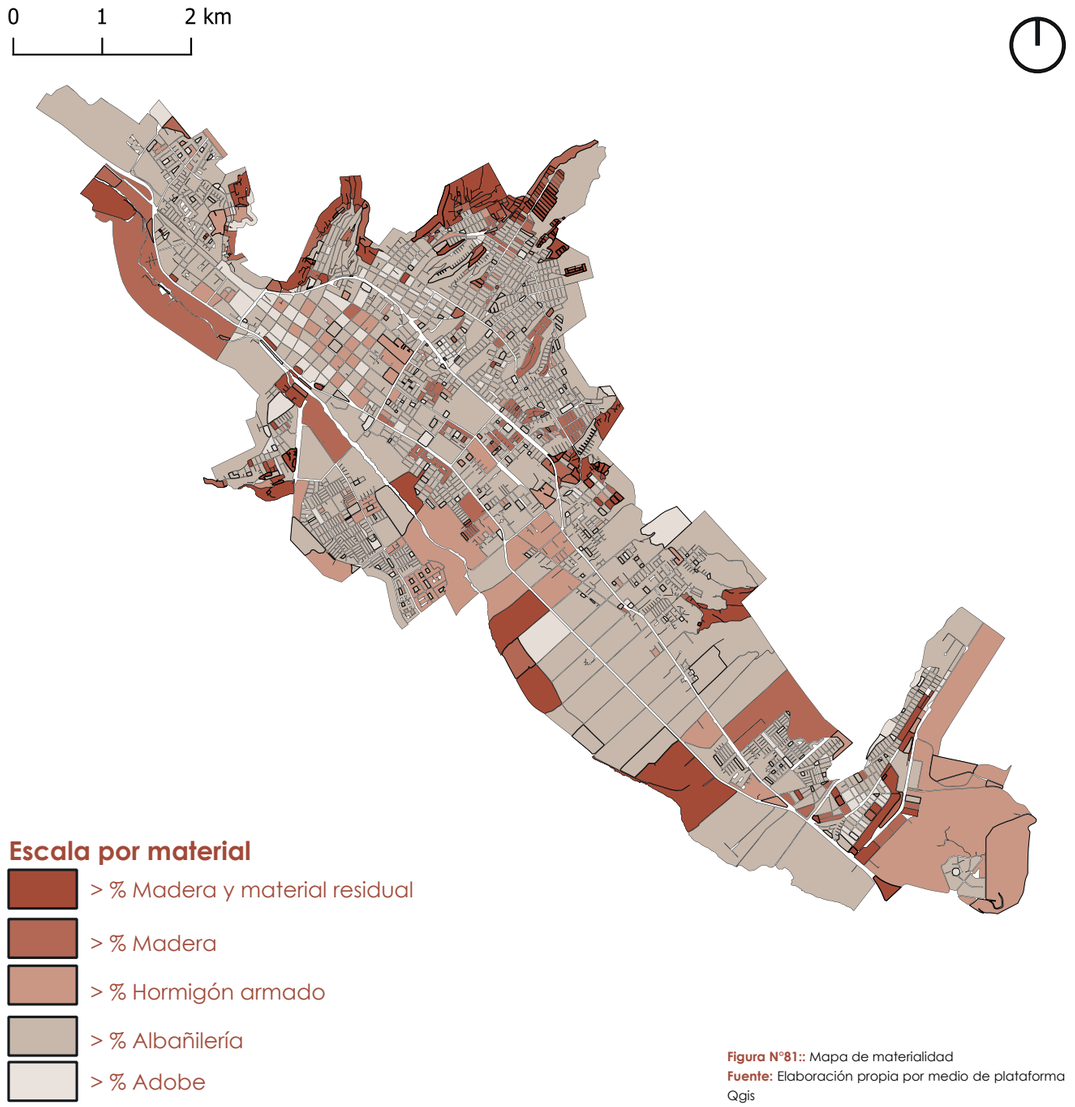


Figura N°81:: Mapa de materialidad
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis

3.6.2 Desarrollo de mapa de acceso a agua potable

Censo clasifica el acceso a agua en 4 categorías las cuales son
1)Acceso a la red pública
2)Pozos
3)Río
4)Camiones aljibes

En una manzana pueden haber múltiples formas de acceder al agua, sin embargo esta puede resultar deficiente en ciertas categorías, tales como pozos, río y camiones, pues los camiones restringen el agua en relación a la cantidad otorgada y el tiempo de recarga, mientras que los ríos y pozos en la ciudad contienen una gran escasez, que va sumado a la cantidad de materiales y minerales que trae el agua ya llegando a la ciudad, por lo tanto se denomina como agua potable al porcentaje de viviendas que tengan un acceso al agua mediante la red pública.

Escala	Vulnerabilidad	Conceptualización
1	Muy Baja	Más del 80% de viviendas con acceso a la red pública
2	Baja	60 - 80% de viviendas con acceso a red pública
3	Mediana	40 - 60% de viviendas con acceso a la red pública.
4	Alta	20 - 40% de viviendas con acceso a la red pública
5	Muy Alta	0 - 20% de viviendas con acceso a la red pública

Figura N°82: Clasificación de vulnerabilidad en función del acceso a agua potable
Fuente: Elaboración propia en base a literatura temática

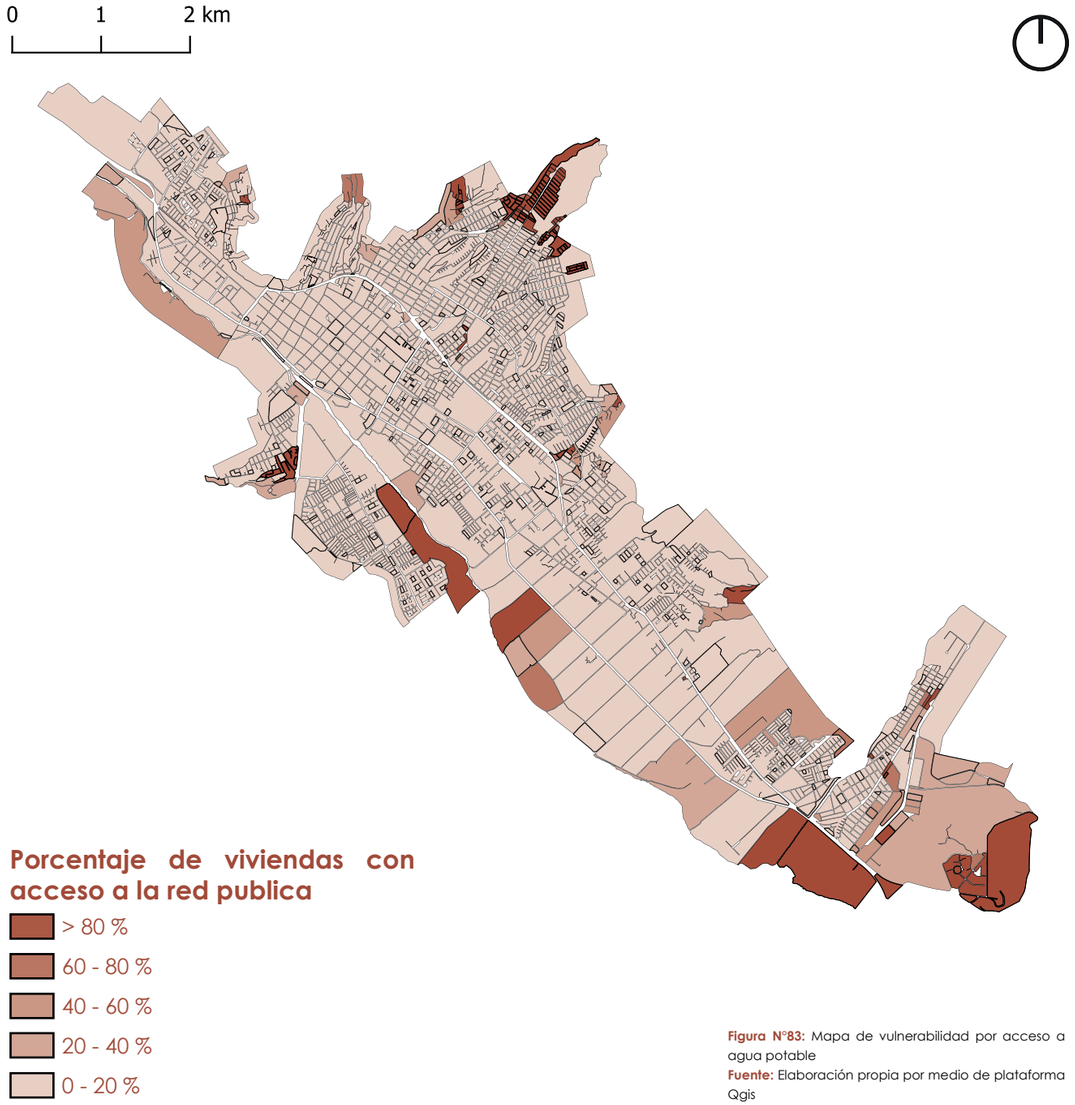


Figura N°83: Mapa de vulnerabilidad por acceso a agua potable
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis

3.6.3 Desarrollo de mapa sobre calidad del aire

La calidad de aire se desarrolló en base a un monitor de nombre GAIA, el cual usa sensores láser para identificar diferentes partículas en el ambiente, estas serían partículas PM 2.5 y PM10, siendo este último uno de los más dañinos y el contaminante principal en la ciudad. En Copiapó existen dos puntos de medición que están en extremos opuestos de la ciudad, los cuales por medio de la página del monitor es posible sacar los datos en tiempo real, como también de registros anteriores.

El PM10 son las partículas de un diámetro de 10 micrones o menos y entre sus componentes están el polvo, la tierra, el polen, el moho, las esporas, entre otras.

Para el cálculo se sacaron registros del mes de noviembre del año 2023, de los cuales se realizó un levantamiento de partículas PM10 para el día en donde hubo una mayor concentración de estas en la ciudad.

Escala	Calidad de aire	Concentración de PM10
1	Muy bueno	0 - 20 ug/m3
2	Bueno	11 - 20 ug/m3
3	Mediana	21 - 25 ug/m3
4	Mala	26 - 25 ug/m3
5	Muy mala	51 - 800 ug/m3

Figura N°84: Clasificación de vulnerabilidad en función de la calidad del aire
Fuente: Elaboración propia en base a rango de peligrosidad de la calidad del aire

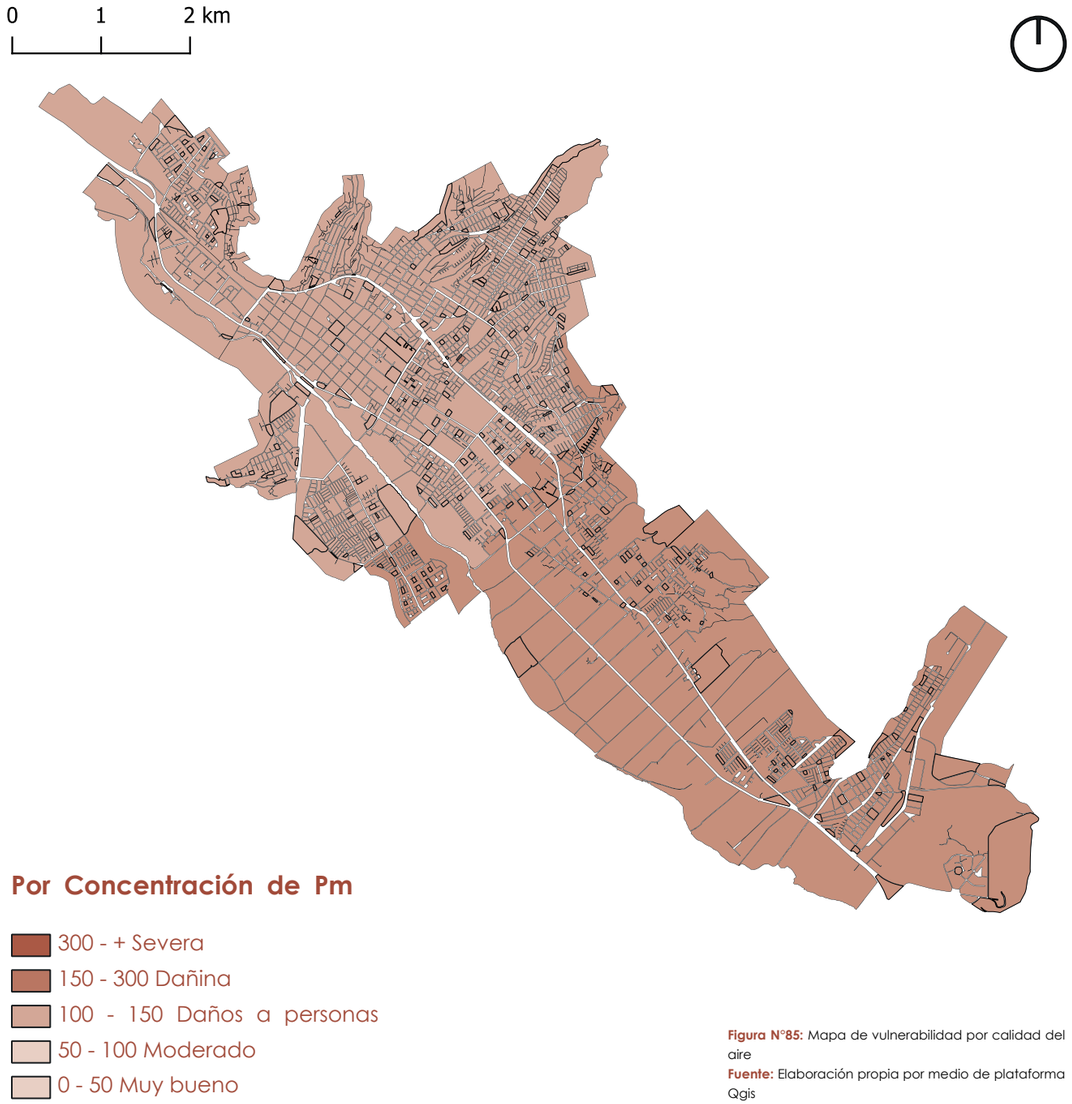


Figura N°85: Mapa de vulnerabilidad por calidad del aire
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis

3.6.4 Desarrollo de mapa de acceso a áreas verdes

La variable de acceso a áreas verdes se desarrolló en base de una georreferenciación de las plazas y parques que existen en la ciudad, los cuales fueron levantados en un mapa y luego se realizó una distancia radial desde estos puntos. Considerando literatura sobre el tema se rescatan los siguientes criterios de medición:

1) La distancia se mide en base a minutos caminando
2)Distancia máxima hacia una plaza debe de ser de 15 minutos pues "se aconseja una proximidad máxima sustentable de no más de 15 minutos a pie (Le Texier et al. 2018)"
3)1 minuto caminando equivale a 80 metros.
4)Distancia mínima hacia una área verde es de 5 minutos (400 metros)

Escala	Distancia	Minutos caminando
1	0 - 400 metros	5 minutos
2	400 - 800 metros	5 - 10 minutos
3	800 - 1000 metros	10 - 12 minutos
4	1000 - 1200 metros	12 - 15 minutos
5	Mas de 1200 metros	Más de 15 minutos

Figura N°86: Clasificación de vulnerabilidad por acceso a áreas verdes
Fuente: Elaboración propia en base a literatura temática

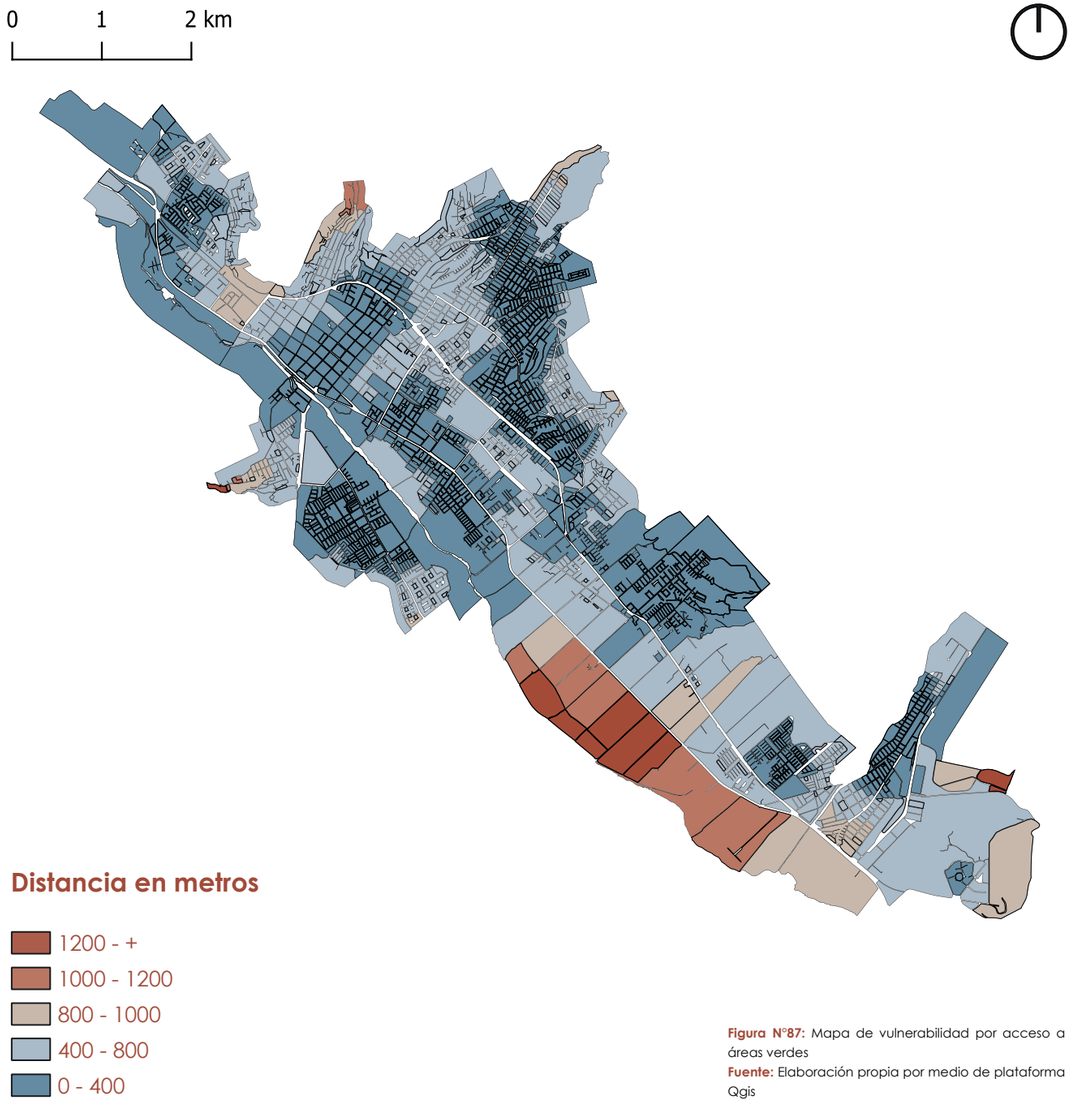
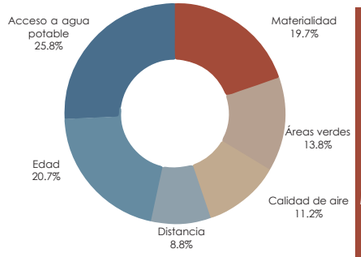


Figura N°87: Mapa de vulnerabilidad por acceso a áreas verdes
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis

3.6.5 Desarrollo de mapa de vulnerabilidad ante islas de calor urbano

Finalmente, la vulnerabilidad global se calcula teniendo en cuenta el peso definido para cada variable (figura 88) y la intensidad que tiene cada una a nivel de manzana, de esta forma se tiene una vulnerabilidad que va a estar definida en una escala del 1 al 5, siendo esta el resultado de la sumatoria del producto que se tiene en cada variable, esto se explica en la siguiente tabla:

Figura N°88: Resultados de variables de vulnerabilidad según peso
Fuente: Elaboración propia



	Variables	Escala	*	Peso	Producto
Manzana ejemplo	Acceso a agua potable	5		0.258	1.29
	Edad	4		0.207	0.828
	Materialidad	5		0.197	0.985
	Acceso a áreas verdes	4		0.138	0.552
	Calidad del aire	3		0.112	0.336
	Distancia a servicios de salud	4		0.088	0.352
Vulnerabilidad Global					4.343 = 4

Figura N°89: Clasificación de la vulnerabilidad global frente a islas de calor
Fuente: Elaboración propia, en base a cálculo de vulnerabilidad global.

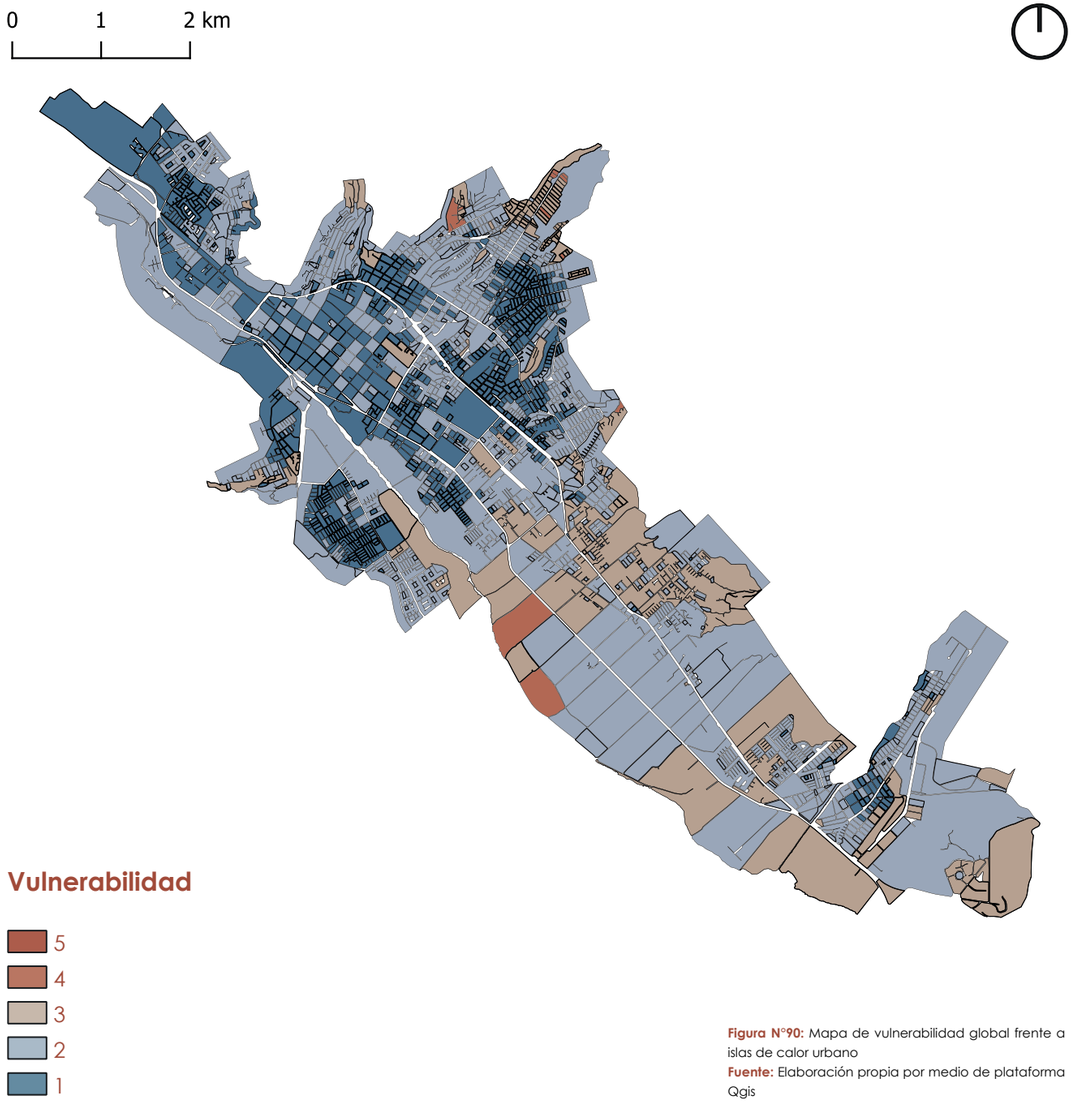


Figura N°90: Mapa de vulnerabilidad global frente a islas de calor urbano
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis

CAPÍTULO 4: Categorización de la exposición

4.1 El concepto de exposición y su categorización en la ciudad

El factor de exposición se refiere a los sectores que albergan infraestructura crítica, bienes de valor y grupos de personas expuestas al riesgo, y se considera especialmente en zonas que presentan las amenazas físicas. Para el contexto de este trabajo, se realiza un levantamiento detallado de los sectores que contienen infraestructura crítica, definidos como aquellos lugares que albergan servicios que con su detención durante una amenaza podría tener un impacto significativo en el funcionamiento de la ciudad, la sociedad, la economía y otros aspectos vitales. Además, se toma en cuenta la densidad poblacional, que representa la cantidad de personas expuestas a la amenaza dependiendo del sector en el cual se encuentra.

Ambas variables se combinan en un mapa de exposición, donde se promedian sus intensidades respectivas. Este análisis permite identificar los sectores que podrían ser potencialmente afectados en el momento de suceder un desastre al reunir estas variables de exposición. La visualización del mapa facilita la comprensión de la distribución geográfica de la exposición, para la planificación de medidas preventivas.

4.2 Análisis de infraestructura crítica en la ciudad

La infraestructura crítica tiene como definición "los bienes o sistemas esenciales para el mantenimiento de funciones sociales vitales, la salud, la integridad física, la seguridad, y el bienestar social y económico de la población y cuya perturbación o destrucción afectaría gravemente" (Artículo 2, Directiva del Consejo 2008/114/EC). Es decir, si estas fallaran por diferentes motivos tendrían un impacto en el bienestar integral de la comunidad.

Esta infraestructura crítica abarca una gran gama de variables, las cuales son categorizadas dependiendo del tipo de amenaza al que se enfrenta. Por ejemplo, en Chile se está trabajando actualmente en una ley que determina la infraestructura crítica frente a amenazas cibernéticas, donde se incluyen como infraestructura crítica a las redes de telecomunicaciones, satélites, servicios financieros, entre otros. Por otro lado, ante una amenaza física,se consideran más relevantes los servicios de salud, seguridad pública, servicios administrativo como municipalidades, centros educacionales y tiendas. La falta de funcionamiento de estos servicios podría resultar en saqueos, incomunicación, interrupción educativa, escasez de suministros médicos, entre otros, que alterarían el bienestar de la población.

Por este motivo se seleccionan como infraestructura crítica las siguientes:

Infraestructura crítica



Figura N°91: Variables de infraestructura crítica
Fuente: Elaboración propia

Estas se fueron levantando a nivel geográfico en la ciudad, generando un mapa que logra localizar los sectores que contienen estos servicios. Estas áreas se analizan a nivel manzana, convirtiéndolo en una escala de intensidades del 1 al 5 en donde se toma en cuenta a una intensidad de 5 a los sectores con mayor cantidad de servicios, mientras que los sectores de menos intensidad serian aquellos que no contienen ningún tipo de servicio.

Los resultados reflejan que las manzanas con una mayor cantidad de infraestructura critica se suelen concentrar en el centro histórico de la ciudad. Por ejemplo, la plaza de armas y sus alrededores albergan hasta seis servicios en una sola manzana, mientras que otras cuentan con entre 2 a 5 servicios. Esto esclarece la importancia de ciertas zonas que tienen un mayor desarrollo urbano, reflejado en la cantidad de infraestructura y edificios públicos presentes, los cuales deben de tomarse en cuenta cuando se realicen planes de mitigación y adaptación.

En la figura 92 se puede ver a detalle como se desarrolla la escala de intensidades

Escala	Cantidad de infraestructura crítica por manzana
1	0 servicios
2	1 Servicio
3	2 Servicios
4	3 Servicios
5	4 a más servicios

Figura N°92: Intensidad de infraestructura crítica media por cantidad en las manzanas
Fuente: Elaboración propia

En la figura 93, se puede ver el levantamiento de diferentes servicios localizados en la ciudad, representados como puntos georreferenciados. Además se puede ver la escala de colores dependiendo de la cantidad de servicios que contiene la manzana.

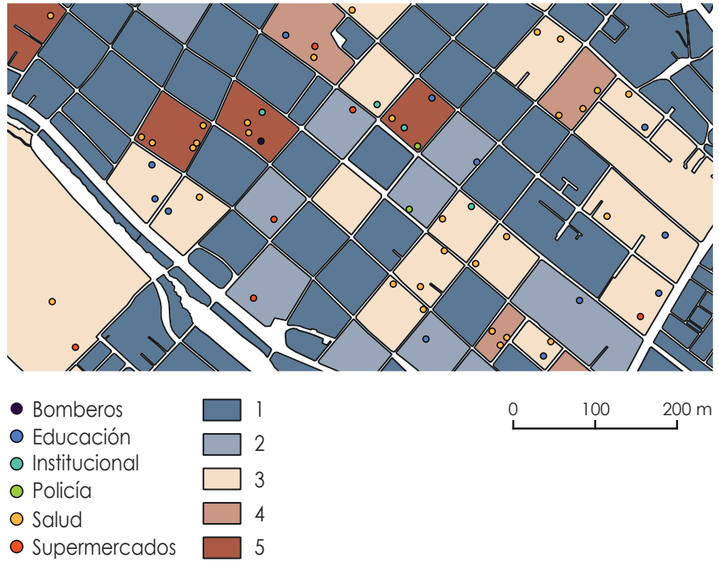


Figura N°93: Levantamiento de infraestructura crítica
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis

Mapa de infraestructura crítica

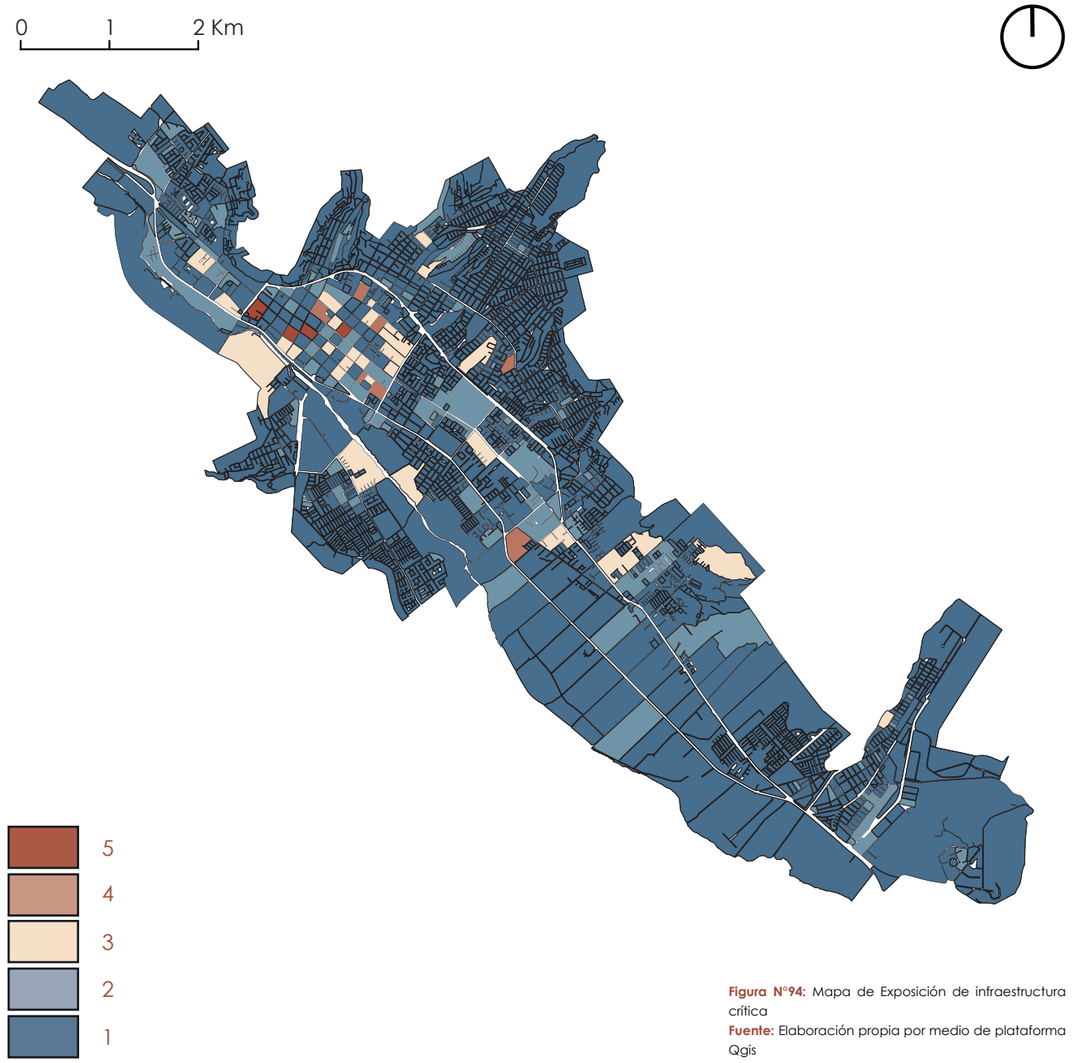


Figura N°94: Mapa de Exposición de infraestructura crítica
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis

4.3 Densidad poblacional como factor de exposición

"Densidad de población se entiende como la relación entre el número de personas que viven en un territorio y su extensión, lo que se puede expresar en habitantes por m2, km2, ha u otra unidad (Densidad poblacional y vivienda CENSO 2017). Para este análisis, se utilizan datos de censo de 2017, que clasifican la densidad poblacional a nivel de manzana en cada comuna del país. Esta escala se clasifica en intensidades del 1 al 5, la cual también es entregada por CENSO, los rangos son los siguientes:

$$\textit{Densidad poblacional} = \frac{\textit{Población total por manzana}}{\textit{Hectáreas por manzanas}}$$

Escala	Densidad poblacional
1	0 - 50 densidad de habitantes por hectáreas
2	51 - 70 densidad de habitantes por hectáreas
3	101 - 150 densidad de habitantes por hectáreas
4	151 - 300 densidad de habitantes por hectáreas
5	301 y más densidad de habitantes por hectáreas

Figura N°95: Rangos de exposición por densidad poblacional.
Fuente: Elaboración propia en base a clasificación de densidad según CENSO

Mapa de Densidad poblacional

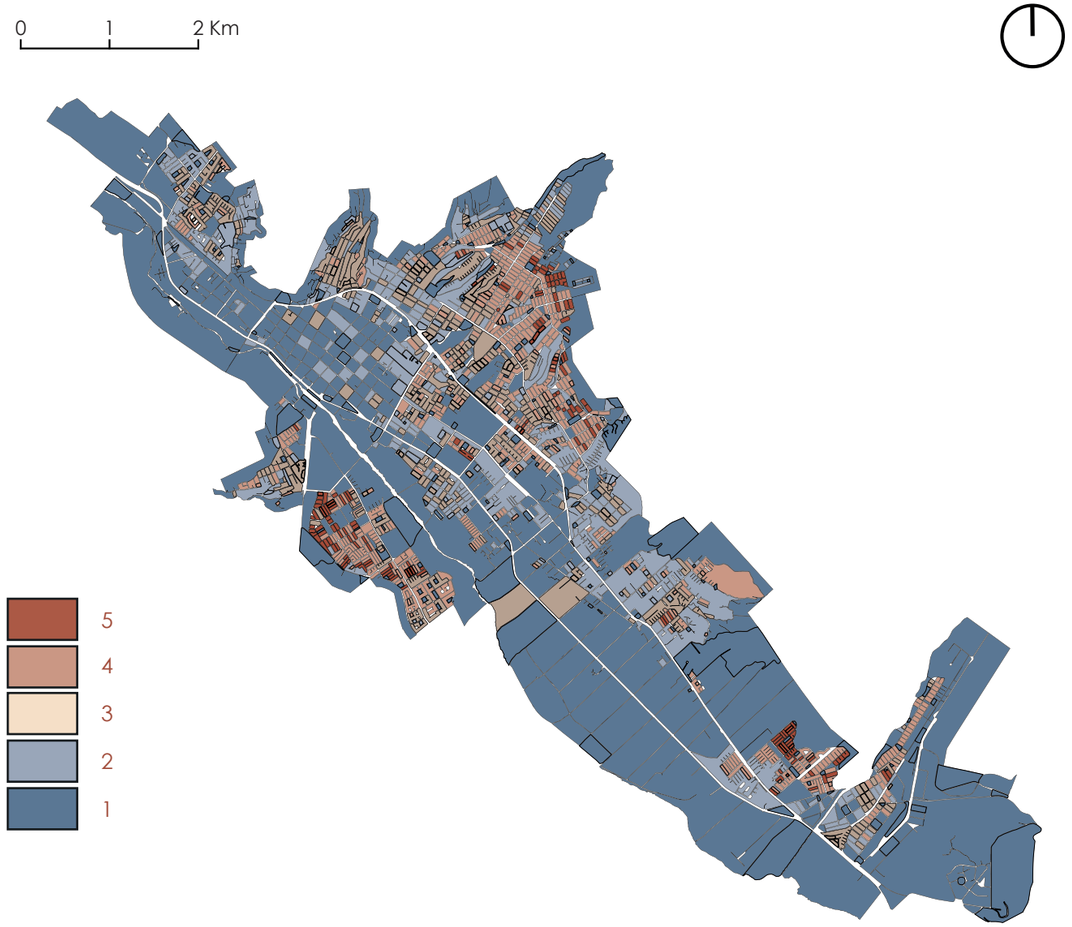


Figura N°96: Mapa de Exposición por densidad poblacional
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis

4.4 Desarrollo de mapa de exposición

La exposición se realizó utilizando los datos de infraestructura crítica y densidad poblacional previamente calculados.

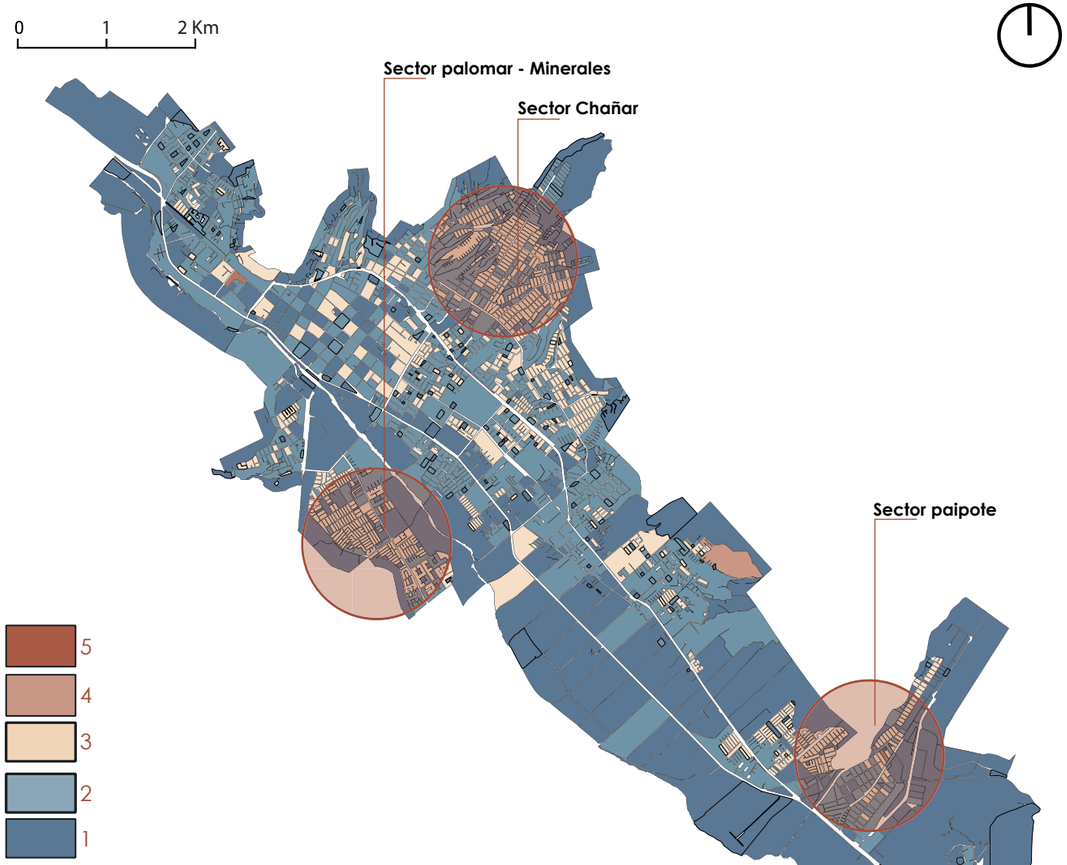
Teniendo en cuenta que ambos conjuntos de datos fueron calificados en una escala de intensidad del 1 al 5, se utiliza esta medida estandarizada para generar el rango de exposición. Este se configura asignando un peso equitativo a las dos variables utilizadas. Por ultimo, estos dos resultados se suman, dando la configuración global de la exposición.

La figura 97 ejemplifica el cálculo del factor de exposición, y muestra como la suma de ambos productos genera un número que se ubica dentro del rango para su categorización.

	Variables	Escala *	Peso	Producto
Manzana ejemplo	Infraestructura crítica	5	0.5	2.5
	Densidad poblacional	4	0.5	2
Exposición				4,5 = 5

Figura N°97: Cáculo de exposición
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se genera un levantamiento de los datos calculados, logrando obtener un mapa que categoriza la exposición en la ciudad.



La ciudad contiene mayormente sectores con un bajo grado de exposición, sin embargo, se destacan 3 zonas con una exposición de media a alta.
Área sur - este: Alberga a sector de “el palomar” y “Los minerales”.
Área nor - oeste: Alberga sector de “El Chañar” y “Juan Pablo”.
Área periférica nor - oeste: Alberga a sector de población “Paipote”.

Figura N°98: Mapa de Exposición
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis

4.5 Elaboración de mapa de riesgo

Como se han mencionado con anterioridad el riesgo viene a ser una palabra compuesta, pues en ella se abordan los 3 factores (Amenaza, vulnerabilidad y exposición), siendo definido en una ecuación general:

Riesgo = Amenaza * Vulnerabilidad * Exposición

Dado que se busca identificar las zonas de mayor riesgo en la ciudad, esta se desarrolla en una escala numérica que será traducida en los niveles de riesgo que se presentan en las diferentes manzanas de la ciudad

Escala	Nivel de riesgo
1	Muy bajo riesgo
2	Bajo riesgo
3	Riesgo intermedio
4	Alto riesgo
5	Muy alto riesgo

Figura N°99: Nivel de riesgo
Fuente: Elaboración propia

Debido a que todos los factores fueron calculados la misma escala de medida al realizar la ecuación previamente mencionada el valor máximo posible será el producto de 5 * 5 *5 dando un total de 125, el cual se debe de convertir al rango utilizado. Por lo tanto, el valor que resulte se debe de convertir en la raíz cubica, siendo así la formula se transforma para poder generar el mapa de riesgo, siendo la siguiente:

Riesgo = (Amenaza * Vulnerabilidad * Exposición)$^{(1/3)}$

En la figura 100 se ejemplifica el cálculo realizado en las diferentes manzanas, donde se observa la intensidad a la que están expuestos cada factor y el resultante, que sería la categorización del riesgo. Esto es posteriormente desarrollado por medio de Qgis, donde se georreferencia cada resultado para poder representar los mapas.

Manzana	Amenaza	Vulnerabilidad	Exposición	Producto	Elevado	Escala
1	5	4	4	4	4	4
2	2	2	3	3	3	3
3	5	3	2	2	2	2
4	4	4	4	4	4	4
5	3	4	3	3	3	3
6	1	1	1	1	1	1

Figura N°100: Cálculo de riesgo
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en base al desarrollo y levantamiento de los diferentes fatores que componen el riesgo y que fueron estudiados a lo largo de esta investigación, se logra identificas los sectores más vulnerables de la ciudad.

Además, se obtiene las variables relevantes para delimitar estas áreas, las cuales tienen un gran peso a la hora de poder desarrollar planes de mitigación y adaptación, pues el riesgo viene a ser una composición de todos los factores y las zonas vienen a ser una concentración de ellos, generando un entorno de riesgo en aquellas manzanas identificadas.

Mapa de riesgo Aluvional

En base al desarrollo de mapa de riesgo frente a desastres aluvionales se puede observar que existen lugares con un nivel de riesgo 3 y 4, los sectores mayormente afectados serian:

Sector nor este: En este se sitúa la población José Joaquín Vallejos y Pedro León Gallo.

Sector sur este: En este se sitúa la población Paipote, la cual tiene la característica de estar junto a la quebrada.

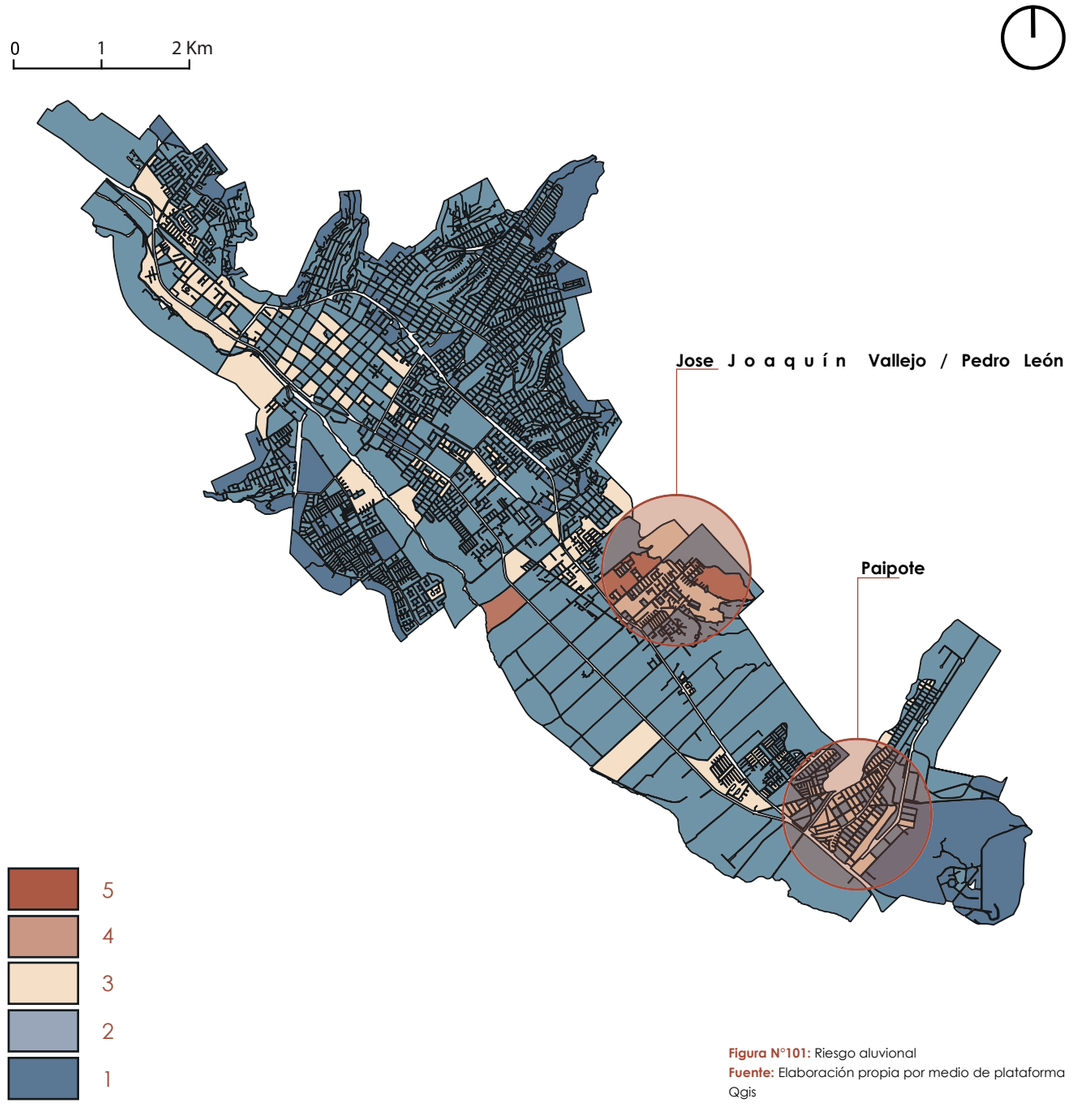


Figura N°101: Riesgo aluvional
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis

Sector Nor Este



Figura N°102: Imagen en planta de Calle Pedro León Gallo con camino a la antena
Fuente: Google earth

Pedro león gallo Gallo con Cam. a la antena



Figura N°103: Fotografía inicio calle camino a la antena
Fuente: Elaboración propia



Figura N°104: Fotografía al interior de calle camino a la antena, se puede observar viviendas irregulares en los cerros que rodean la calle
Fuente: Elaboración propia



Figura N°105: Fotografía interior calle camino a la antena
Fuente: Elaboración propia



Figura N°106: Fotografía calle Jose Joaquín Vallejo
Fuente: Elaboración propia



Figura N°107: Fotografía calle Jose Joaquín Vallejo
Fuente: Elaboración propia

Sector Sur Este



Figura N°108: Imagen en planta sector Paipote
Fuente: Google earth



Figura N°109: Fotografía sector Paipote, tomada desde mirador cerro la cruz
Fuente: Elaboración propia



Figura N°110: Fotografía sector Paipote
Fuente: Elaboración propia



Figura N°111: Fotografía puente Paipote
Fuente: Elaboración propia



Figura N°112: Fotografía sector Paipote
Fuente: Elaboración propia

Mapa de riesgo frente a aumento de temperaturas

En base al desarrollo de mapa de riesgo frente a desastres aluvionales se puede observar que existen áreas con un nivel de riesgo 3 y 4, los sectores mayormente afectados serian:

Sector nor este: En este se sitúa el sector "El Chañar", el cual es un está en urea limítrofe mayormente habitacional.

Sector sur este: En este se sitúa la población Paipote, como también un sector de el palomar en población Viña Casanueva.

Sector sur oeste: En este sector se sitúa la población rosario, es un sector mayormente habitacional.

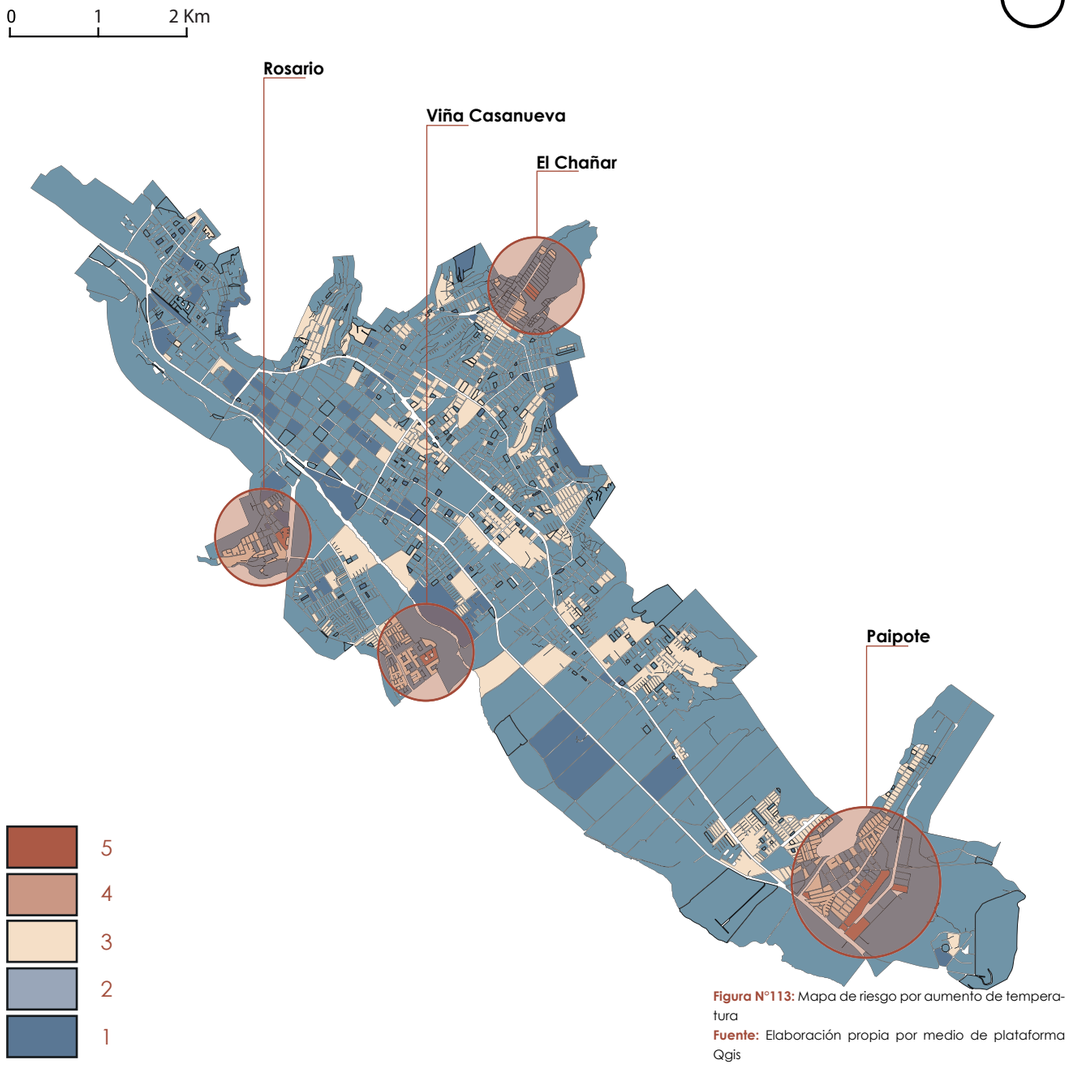


Figura N°113: Mapa de riesgo por aumento de temperatura
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis

Sector Nor Este



Figura N°114: Imagen en planta calle Viña Casanueva
Fuente: Google earth



Figura N°115: Fotografía Viña Casanueva con Viña Pioners
Fuente: Elaboración propia



Figura N°116: Fotografía sector villa casanueva
Fuente: Elaboración propia



Figura N°117: Fotografía calle Viña Casanueva
Fuente: Elaboración propia



Figura N°118: Fotografía Viña Casanueva
Fuente: Elaboración propia



Figura N°119: Fotografía Viña Casanueva
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 5: Desarrollo de mapa de doble riesgo para la ciudad de Copiapó

5.1 Desarrollo de mapa de doble riesgo

La estimación de los sectores de riesgo para ambos desastres evidencia las falencias que se tiene en ciertas áreas de la ciudad, las cuales requieren un tratamiento con estrategias de mitigación y/o adaptación. El cambio climático es una constante que ha ido en aumento por la intervención humana en el sistema, lo que genera un riesgo para los seres vivos, los cuales deben de ajustarse y adaptarse a estos cambios.

Por lo mismo en este capítulo se desarrollarán mapas que identifiquen las zonas afectadas por ambos riesgos, con el fin de evaluarlas para en un futuro poder generar medidas de mitigación adecuadas a su contexto. Para el desarrollo de estos de estos mapas de doble riesgo se consideran 3 situaciones:

1) El riesgo aluvional tiene una mayor intensidad que el aumento de temperaturas.

2El aumento de temperaturas tienen una mayor intensidad que la amenaza aluvional.

3)El riesgo aluvional y de temperaturas tienen una misma intensidad de riesgo.

Finalmente se toma en cuenta un mapa que contiene ambos riesgos y se identifica las zonas más críticas de la ciudad.

5.1.1 Mapa de riesgo situación 1

El desarrollo de los mapas se hizo mediante la asignación de pesos a cada riesgo, para la situación número 1 se le dio un mayor peso al riesgo de aluvión, de la siguiente forma:

Doble Riesgo = (Aluvión * 0,75) + (Isla de calor * 0,25)

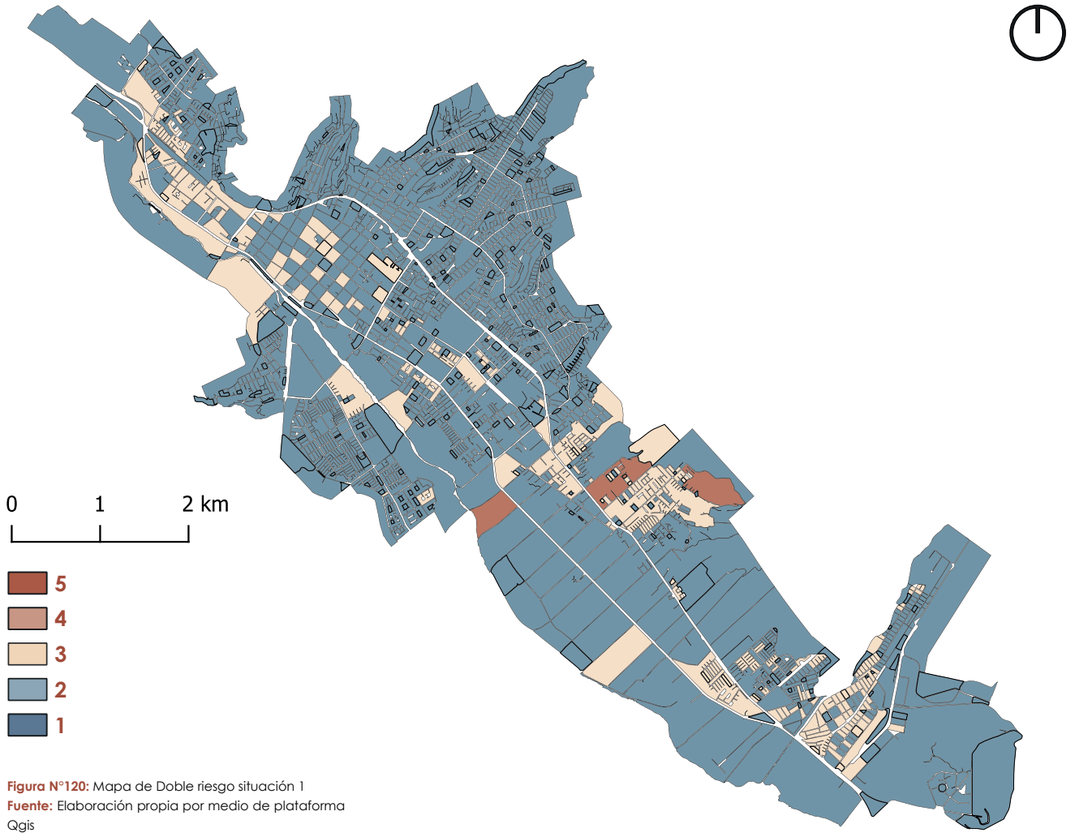


Figura N°120: Mapa de Doble riesgo situación 1
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis

5.1.2 Mapa de riesgo situación 2

Para la situación número dos se le asigno un mayor peso al riesgo por aumento de temperatura, mediante la siguiente formula:

Doble Riesgo = (Isla de calor * 0,75) + (Aluvión * 0,25)

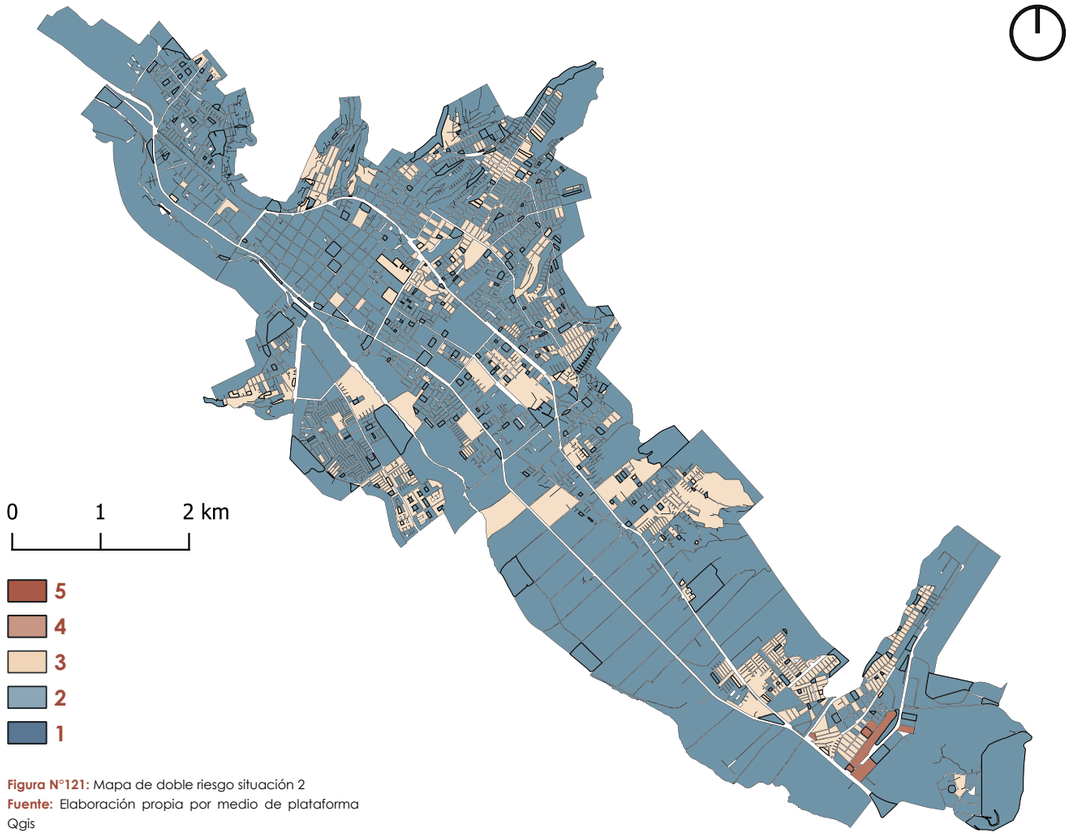


Figura N°121: Mapa de doble riesgo situación 2
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis

5.2 Desarrollo de mapa de doble riesgo

Para el doble riesgo en donde las amenazas contienen una misma intensidad se siguió el mismo criterio de los pesos, utilizando la siguiente formula:

Doble riesgo = (Aluvión * 0.5)+(Isla de calor *0 .5)

Dado que ambos riesgos tienen una misma intensidad, a la formula se le agregó un condicionante, en donde si uno o ambos riesgos tienen en una manzana un valor superior a 4, es decir, una probabilidad de riesgo alta, la manzana adquiere automáticamente ese valor. Esto se debe a que, al considerar que ambas amenazas tienen una misma intensidad, esos sectores estarán igualmente expuestos. Posteriormente se genera el levantamiento de los datos por medio de la plataforma Qgis.

En la siguiente imagen se puede ver el cálculo de las tres situaciones.



Figura N°122: Mapa de doble riesgo Situación 3
Fuente: Elaboración propia por medio de plataforma Qgis



Figura N°123: Identificación de zonas críticas
Fuente: Elaboración propia

5.2.1 Sectores críticos

Luego de generar el mapa de doble riesgo se logran identificar 4 sectores que tienen un riesgo crítico estos son:

Sector nor este: Aquí se delimitan 3 manzanas ubicadas en las calles Andacollo con pasaje la Padrera, el canto y el sauce respectivamente. Estas poblaciones se encuentran en las periferias de la ciudad y cercana a los cerros.

Sector este: En esta área se logran identificar 2 manzanas, las cuales se encuentran en avenida José Joaquín Vallejo y avenida Pedro León Gallo, la cual intercepta con calle camino a la antena.

Sector Sur este: En esta área se encuentra la población Paipote, en donde se identifican como zonas críticas las calles las delicias, Pedro Aguirre Cerda y Candelaria Goyenechea, todas estas zonas se encuentra en lugares periféricos de la ciudad y tienen conexión con la cuenca hidrográfica del Río Copiapó y Quebrada Paipote.

Sector sur oeste: En esta área se encuentran sectores de la población rosario y población palomar.

Luego de identificar los sectores se evalúan las zonas, esto con el fin de contextualizarlas y generar propuestas de mitigación en base a sus características.

Sector Francisco de Aguirre



Figura N°124: Fotografía edificio residencial Avenida Copayapu
Fuente: Google Maps

Cantidad de personas: 1448

Hombres : 778

Mujeres: 670

Número de viviendas: 829

Casas: 28

Departamentos: 801



Figura N°125: Fotografía edificio residencial calle Francisco de Aguirre
Fuente: Google Maps

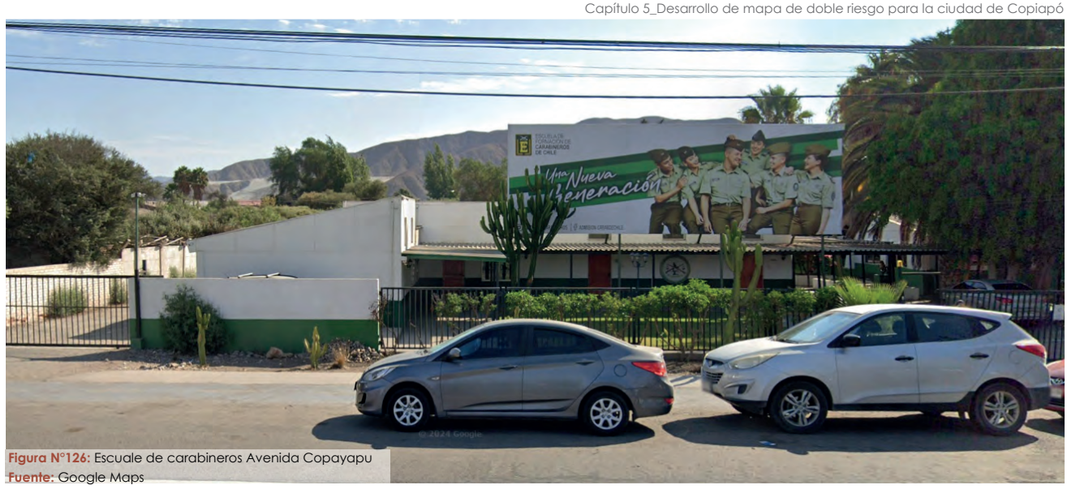


Figura N°126: Escuale de carabineros Avenida Copayapu
Fuente: Google Maps

Esta área de la ciudad está frente a una avenida principal de la ciudad, que es la avenida Copayapu. Se caracteriza por ser un sector residencial, compuesto mayormente por complejos departamentales. El edificio consta de un total de 5 pisos, con lo cual no contiene ascensores y la fachada exterior del edificio también es utilizada como sector de comercios pequeños. Además, en la manzana se encuentran viviendas aisladas y una escuela de carabineros.

Sector Tomas de Andacollo



Figura N°127: Fotografía tomas de Andacollo
Fuente: Ministerio de bienes nacionales

Cantidad de personas: 215

Hombres : 114

Mujeres: 101

Número de viviendas: 87

Casas: 66

Media agua: 21



Figura N°128: Fotografía tomas de Andacollo
Fuente: Nostalgia

Este sector tiene por nombre tomas de Andacollo o sectores altos de Andacollo, principalmente porque toda la población es conectada por esta calle, la cual en los sectores altos pasa a ser un camino de tierra. Este sector se caracteriza por viviendas de 1 a 2 pisos, las cuales vendrían a estar en terrenos tomados por las personas, las viviendas mayormente tienen acceso al agua por medio de camiones aljibes, los cuales llegan 1 vez a la semana a repartir agua, igualmente es un sector ubicado sobre cerro donde el transporte público no llega.

Sector Pedro León Gallo



Figura N°129: Fotografía Pedro León Gallo, pasaje Cisne
Fuente: Elaboración propia

Cantidad de personas: 435

Hombres : 224

Mujeres: 211

Número de viviendas: 158

Casas: 151

Media agua: 7



Figura N°130: Fotografía interior de camino a la antena
Fuente: Elaboración propia



Figura N°131: Fotografía vivienda en calle camino a la antena
Fuente: Elaboración propia



Figura N°132: Fotografía calle camino a la antena
Fuente: Elaboración propia



Figura N°133: Fotografía pasaje cisne
Fuente: Elaboración propia



Figura N°134: Fotografía pasaje Cisne
Fuente: Elaboración propia

Esta área constituye la última manzana que conecta con la avenida Pedro León Gallo, luego se intercepta con calle camino a la antena. El lugar se caracteriza por tener viviendas irregulares que se encuentran aisladas en un área con escasa vegetación, está rodeada de cerros, los cuales tienen quebradas, las cuales han intentado ser contenidas por la población residente del lugar, cercano a esta manzana se encuentran viviendas de tipo pareadas de 1 a dos pisos.

Sector Jose Joaquín Vallejo

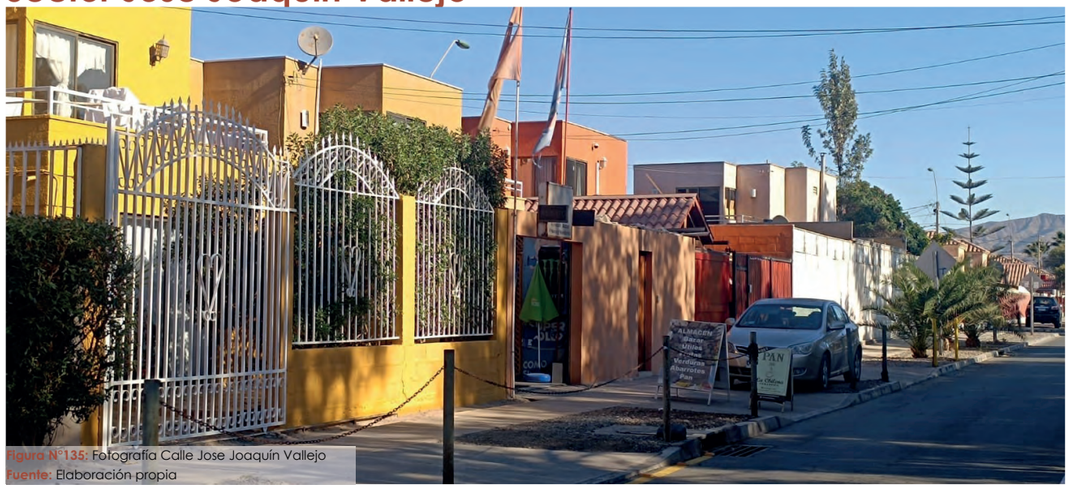


Figura N°135: Fotografía Calle Jose Joaquín Vallejo
Fuente: Elaboración propia

Este sector se caracteriza por ser un área habitacional, en la imagen se pueden ver viviendas pareadas de dos pisos, que corresponden a la manzana de enfrente, la manzana estudiada tiene viviendas de 1 piso de tipo continua, las cuales se caracterizan por tener calles estrechas con poca a mediana vegetación.

Cantidad de personas: 816

Hombres : 405

Mujeres: 411

Número de viviendas: 366

Casas: 191

Departamentos: 174

Media agua: 1



Figura N°136: Fotografía vivienda en calle Jose Joaquín Vallejo
Fuente: Elaboración propia



Figura N°137: Fotografía calle Jose Joaquín Vallejo
Fuente: Elaboración propia



Figura N°138: Fotografía calle Jose Joaquín Vallejo, se puede ver la sedimentación de barro que ha quedado en las viviendas
Fuente: Elaboración propia

Sector Viña Casadulce



Figura N°139: Fotografía calle viña Casa dulce
Fuente: Elaboración propia



Figura N°140: Fotografía calle viña Casa dulce
Fuente: Elaboración propia

El área se caracteriza por ser del tipo habitacional, las cuales son pareadas de 1 piso, este sector contiene vegetación y pequeñas plazas cercanas.

Cantidad de personas: 315

Hombres : 151

Mujeres: 164

Número de viviendas: 104

Casas: 104



Figura N°141: Fotografía calle viña Casa dulce
Fuente: Elaboración propia



Figura N°142: Fotografía calle viña Casa dulce
Fuente: Elaboración propia



Figura N°143: Fotografía calle viña Casa dulce
Fuente: Elaboración propia

Sector Paipote/ Las delicias



Figura N°144: Fotografía sector paipote
Fuente: Elaboración propia

Este sector se encuentra entre las ultimas calles de la población Paipote, el cual tiene la característica de tener viviendas de tipo continua, también es un área por donde se interceptan la quebrada Paipote con el Río Copiapó, siendo así un área muy afectada. Además, se encuentra cercana a cerro. En la foto se puede observar el puente en donde se dirige el cauce del río cuando este lleva caudal, el cual fue desbordado en el aluvión del año 2015.

Cantidad de personas: 43

Hombres : 29

Mujeres: 14

Número de viviendas: 15

Casas: 12



Figura N°145: Fotografía calle las delicias
Fuente: Elaboración propia



Figura N°146: Fotografía calle las delicias
Fuente: Elaboración propia

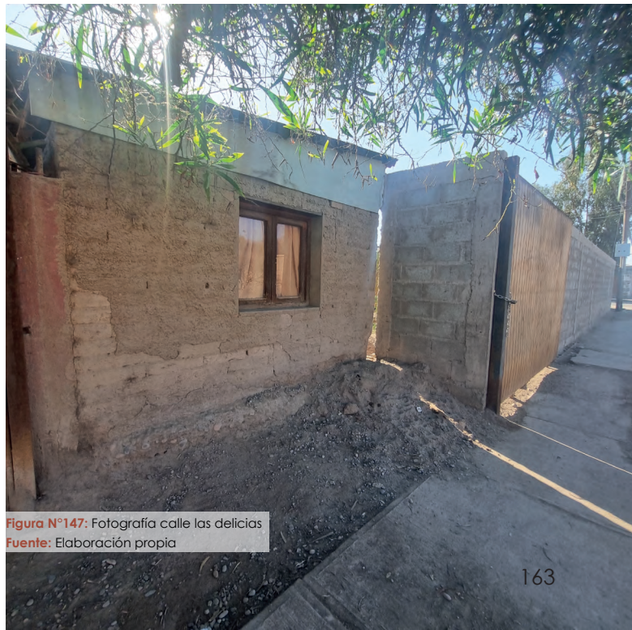


Figura N°147: Fotografía calle las delicias
Fuente: Elaboración propia



Figura N°148: Fotografía sector paipote
Fuente: Elaboración propia



Figura N°149: Fotografía puente de paipote
Fuente: Elaboración propia



Figura N°150: Fotografía calle las delicias
Fuente: Elaboración propia



Figura N°151: Fotografía Paipote tomada desde mirador cerro la cruz
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 6: Conclusiones

6.1 Conclusiones Generales

Teniendo en cuenta todo el desarrollo y levantamiento de información realizado se concluye que un análisis de riesgo es fundamental para la gestión de desastres, pues el cambio climático es una constante en el tiempo que afecta de manera sistemática a todos los seres vivos.

Se define como sistema a "un conjunto cuyos elementos se hallan en permanente interacción. (Vulnerabilidad Global, Gustavo Wilches Chaux)", los cuales en un desastre dejan en evidencia aquellas características perjudiciales que transforman una amenaza en un riesgo.

De esta forma el riesgo se compone de múltiples factores que provocan una mayor susceptibilidad en ciertos sectores de la ciudad, generando situaciones negativas que implican la pérdida de vidas humanas, viviendas y daños en la sociedad. Estos factores se clasifican en diferentes aspectos que abarcan variables sociales, económicas, políticas, ambientales, entre otras.

En cuanto a la ciudad de Copiapó, se puede concluir que esta enfrenta situaciones de riesgo, pues en los últimos años ha registrado un aumento en las precipitaciones y también en la temperatura, que han afectado a la comunidad, esto debido a las múltiples variables de vulnerabilidad y exposición que al concentrarse en ciertas áreas provocan una mayor probabilidad de daños.

Como se vio en este trabajo, los desastres evaluados afectan principalmente a sectores concentrados en limítrofes de la ciudad, donde el movimiento migratorio ha generado una mayor concentración de personas y hogares. Esto evidencia la falta de gestión que existen en estos sectores, que se caracterizan por ser áreas periféricas y con una baja atención por parte de la sociedad.

Por lo tanto, es necesario generar una mayor inversión y establecer medidas de adaptación y/o mitigación que logren disminuir el riesgo en ellas.

Estos riesgos, como se menciona anteriormente, involucran muchos aspectos de la sociedad, los cuales siempre están presentes, aunque en menor medida. Sin embargo, cuando ocurre un suceso de mayor escala, estos se ven mayormente afectados.

La investigación y análisis de las dos amenazas estudiadas permiten identificar los diferentes problemas que caracterizan a esta sociedad de riesgo, y de esta forma se pueden generar políticas que logren mitigarlos. Además, se debe de tomar en cuenta que para generar estas estrategias de mitigación se deben de pensar como un beneficio tanto para el presente como para el futuro. Es decir, deben de poder controlar los desastres, pero también la vulnerabilidad que existe constantemente, así se logra construir una ciudad con una mejor calidad de vida para sus habitantes.

La metodología utilizada permite identificar estas áreas de riesgo, obteniendo una escala de intensidades que resulta en un mapa que combina ambas amenazas y destaca los sectores más críticos de la ciudad. Esto tiene una gran importancia, ya que se contextualiza cada sector, permitiendo formular propuestas de mitigación y/o adaptaciones eficaces para cada área.

La propuesta metodológica, en primera instancia, demostró el estudio cualitativo de caso, lo que permitió contextualizar y generar un levantamiento de la ciudad, así como identificar factores de vulnerabilidad, exposición y sus amenazas. Posteriormente se realizó un trabajo cuantitativo en donde por medio de un análisis jerárquico se pudieron identificar tanto las variables como su nivel de importancia en la ciudad, todo esto con la participación de diferentes profesionales en las áreas que ordenaron según peso el nivel de importancia de cada factor. Así se logra la obtención de los mapas.

Esta metodología permitió la recolección de grandes fuentes de información, exponiendo los sectores más críticos. A su vez, al basarse en información a escala de manzana, puede actualizarse en base al contexto de la ciudad y la nueva información que surja con el tiempo, además se puede incorporar nuevas variables si así lo requiere, lo que otorga un carácter flexible para diferentes estudio o casos.

6.2 Propuestas de mitigación

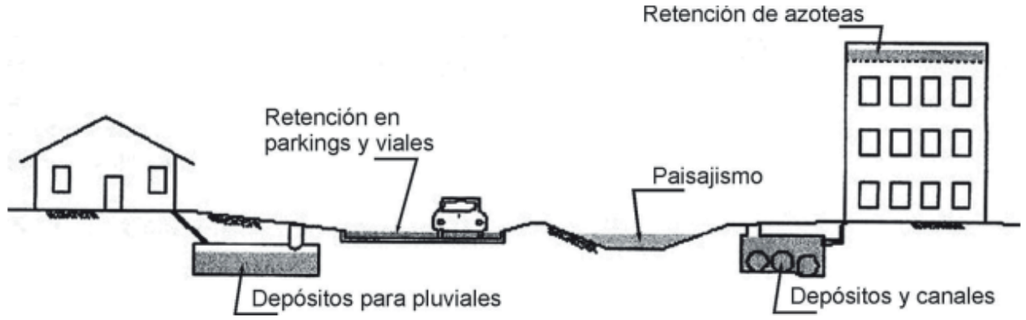
En base a la identificación de las zonas de mayor riesgo, se puede concluir que estas comparten características comunes: están ubicadas en zonas periféricas cercanas a cerros, así como a cuencas y quebradas hidrográficas. Ademas, Copiapó es una ciudad árida con escasa vegetación, lo cual contribuye al movimiento fluvial, como también al aumento y concentración de temperaturas. El suelo presenta características impermeables y de alta erosión, lo que provoca una mayor sensación térmica. Por lo tanto, se estudian referentes sobre estrategias de mitigación en climas áridos, pues las medidas a implementar deben considerar esta escasez hídrica que dificulta el mantenimiento de áreas verdes.

Entre medidas que podrían ayudar a disminuir el riesgo en estos sectores se pueden considerar las siguiente:

Retención con filtración

Es un método que sirve para filtrar y retener el agua lluvia, permitiendo un retraso en el movimiento fluvial y haciendo que el suelo sea más permeable. Se trata de un drenaje que retiene y filtra el agua, redirigiendola a diferentes sectores fomentando el crecimiento de áreas verdes en plazas, parques, jardines, entre otras.

Figura N°152: Retención con filtración
Fuente: Estrategias de mitigacion y control de aluviones
e inundaciones en el centro oeste argentino.
Caso: Gran Mendoza



Piscinas o reservorios de agua

Esta es una medida que ya se ha implementado en la quebrada de Macul en la región Metropolitana.

Consiste en un sector destinado a la reserva del agua, que permite su decantación de forma más controlada, lo cual ayuda a que no haya un gran removimiento y escurrimiento de masas.

Este método podría servir en las áreas cercanas al cerro en los sectores Pedro León Gallo, Paipote y Andacollo, puesto que estos tienen cuencas hidrográficas que están inactivas hasta la presencia de precipitaciones, lo cual hace que sumado a la escasez de vegetación y la toma de estos terrenos generen una mayor escorrentía, que podría ser mitigada, controlando su flujo.

Figura N°153: Piscinas o reservas de agua
Fuente: Estrategias de mitigacion y control de aluviones
e inundaciones en el centro oeste argentino.



Gravilla de Ladrillo

Esta medida puede facilitar la retención de agua y también el enfriamiento de sectores con alta concentración de temperatura, debido a que se utiliza la gravilla de ladrillo para crear jardines que requieren un bajo consumo hídrico. La gravilla conserva la humedad en el suelo, tienen una menor necesidad de riego, a su vez mantiene una temperatura más baja en temporada de verano, pues regula la temperatura de la tierra por la conservación del agua.

En la comunidad de Renca se ha elaborado un proyecto que busca revitalizar los espacios con el uso de esta gravilla.

Esta medida podría implementarse aún más en las áreas que tienen una baja accesibilidad a las áreas verdes y una gran concentración de temperatura. Por el tipo de suelo presente en la ciudad y la identificación de sectores como las tomas de Andacollo y Pedro León Gallo, que presentan dificultades de acceso al agua potable y espacios recreacionales, se podría tomar en cuenta esta medida tanto a escala de vivienda como de barrio, generando planes para la creación de parques, plazas y jardines de una manera sostenible.



Figura N°154: Islas de calor por porcentaje en la ciudad
Fuente: Gravilla de ladrillo: un nuevo material para crear jardines de bajo consumo hídrico

Bibliografía

Acta de fundación de Copiapó. (1744). En Fuentes Para la Historia Urbana En el Reino de Chile (Documento N194). https://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-98906.html

Adaptación urbana al cambio climático. (2014). Adapt Chile. (Obra original publicada en 2014)

Aguilar, E., Espinoza, P., & Wiese, K. (2023). Estudio del Riesgo ante amenazas hidrometeorológicas en Nicaragua utilizando herramientas SIG: Período del 2022. REDER, 7(2), 219. https://doi.org/10.55467/reder.v7i2.134

Alfaro-Sánchez, M., Romero-Vargas, M., & Bermúdez-Rojas, T. (2018). Indicadores de Proximidad a Servicios Urbanos en la Ciudad de Heredia. https://www.redalyc.org/journal/4517/451755941014/html/

Aragón, J., Rodriguez, E., Varon, G., & Sanchez, G. (2020). Análisis de islas de calor por medio de imágenes satelitales y sistemas de información geográficos en el área urbana de la Sabana de Bogota. Geographicalia.

Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data. Journal Of Sensors, 2016, 1-8. https://doi.org/10.1155/2016/1480307

Avilán, N. C. (2017). La plaza hispanoamericana Siglos: XVI, XVII y XVIII. Caso de estudio como análisis tipológico. Revistarquis, 6(2). https://doi.org/10.15517/ra.v6i2.30533

Bello, O., Bustamante, A., Pizarro, P. "Planificación para la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible", Documentos de Proyectos (LC/TS.2020/108), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020.

Cáceres, F. (2016). PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN y MITIGACIÓN DE LOS FACTORES DEL RIESGO (SISMO e INCENDIO) EN INMUEBLES PATRIMONIALES DEL ÁREA UNESCO DE VALPARAÍSO [Tesis de pregrado, Universidad Tecnica Federico Santa María]. http://hdl.handle.net/11673/24373

Cajigal, E., Maldonado, A.,(2019). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante inundaciones. Un ejercicio emergente ante el cambio climático. Economía, sociedad y territorio, Volumen 19, No 61, Pag 543 - 574.

Calderón, M. (2012). EVALUACIÓN DEL RIESGO y PROPUESTA PROPUESTA DE GESTIÓN DEL RIESGO PARA LAS COMUNAS DE RENCA y QUILICURA, AMBAS INCLUIDAS EN LA MODIFICACIÓN DEL PLAN REGULADOR METROPOLITANO DE SANTIAGO-100 [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/111720

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS BANDAS ESPECTRALES EN IMÁGENES LANDSAT 8. (2018, 13 abril). Eportafolio. https://adrianaparranarvae.wixsite.com/eportafolio/single-post/2018/04/12/caracter%C3%ADsticas-principales-de-las-bandas-espectrales-en-im%C3%A1genes-landsat-8

Casadei, P., Semmartin, M., & Garbulsky, M. F. (2021). Análisis regional de las islas de calor urbano en la Argentina. Ecología Austral/EcologíA Austral, 31(1), 190-203. https://doi.org/10.25260/ea.21.31.1.0.970

Cedeus. (2015, 27 marzo). Llaman a construir obras de mitigación para evitar más aluviones. Plataforma Urbana. https://www.plataformaurbana.cl/archive/2015/03/27/llaman-a-construir-obras-de-mitigacion-para-evitar-mas-aluviones/

Chúláin, A. N. (2021, 17 septiembre). ¿Qué son las «ciudades 15 minutos» y cómo cambiarían nuestra forma de vivir, trabajar y socializar? Euronews. https://es.euronews.com/next/2021/09/17/-que-son-las-ciudades-15-minutos-y-como-cambiaran-nuestra-forma-de-vivir-trabajar-y-sociali

Ciencia plus. (2022, 27 de abril). Doble riesgo de malas cosechas por meteorología extrema para 2100. europapress.es. https://www.europapress.es/ciencia/cambio-climatico/noticia-doble-riesgo-malas-cosechas-meteorologia-extrema-2100-20220427114036.html

Ciudades en riesgo. (s.f.). El País. https://elpais.com/elpais/2019/11/11/seres_urbanos/1573482320_218278.html

Ciren (2021). Caracteristicas demográficas y sociodemmográficas comuna de Copiapó

Déficit habitacional cuantitativo por zona censal. (2022, 10 mayo). ArcGIS StoryMaps. https://storymaps.arcgis.com/stories/9b91afdf19de45c1bafb3080700ea818

Densidad de población y vivienda. (2024, 9 abril). ArcGIS StoryMaps. https://storymaps.arcgis.com/stories/fc03ad1481f44b6299b81c22c91497fe

Devlon. (2022, 11 octubre). ¿QUÉ ES LA CALIDAD DEL AIRE? - Devlon. Devlon. https://devlon.es/calidad-del-aire/

Diagnósticos de estudios complementarios. (2021). En Análisis y diagnóstico, estudio actualización plan regulador comunal Copiapó (3a ed., p. 90). SurPlan

Dutton, K. (s. f.). La Vulnerabilidad de la Tercera edad en Desastres Naturales: Un Estudio de la Inundación en La Plata, Argentina el 2 de abril de 2013 = The vulnerability of the elderly during natural disasters: A study of the flooding in La Plata, Argentina on April 2nd, 2013. SIT Digital Collections. https://digitalcollections.sit.edu/isp_collection/1583/?utm_source=digitalcollections.sit.edu%2Fisp_collection%2F1583&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages

Esquivel, M., García, R., Moreno, M., Palacio, M., Rey, C., Riveros, M., Ruales, L., Uribe, E., Velásquez, M., & Vélez, J. (2023). Análisis de riesgo y vulnerabilidad climática con enfoque ecosistémic. NaBa.

Estrategia internacional para la reducción de desastre. (2009). Terminología sobre reduccion de riesgo de desastre. En UNISDR. https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf

Fernández, J.; Espinoza, L. 2020. Compilación y análisis del registro histórico de remociones en masa tipo flujo en la cuenca del río Copiapó, región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-20-83: 81 p.

Gálvez Salinas, J. A. (2014). Criterios para la planificación y diseño de los corredores fluviales urbanos para la mitigación de la isla de calor. Universidad de Granada.

Galvis, S., & Prado, V. (s. f.). USO DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 8 PARA LA ESTIMACIÓN DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DE LA TIERRA, CASO DE ESTUDIO: IBAGUÉ – TOLIMA. [Trabajo de grado, Universidad de Manizales]. https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/3215/Galvis_Causil_Stephanie_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gestión del riesgo de desastres | UN-SPIDER Knowledge Portal. (s. f.). https://www.un-spider.org/es/riesgos-y-desastres/gestion-del-riesgo-de-desastres

Gisadminbeers. (2020, 21 abril). Todo lo que deberías saber sobre imágenes Landsat - Gis&Beers. Gis&Beers. https://www.gisandbeers.com/lo-deberias-saber-imagenes-landsat/

Gobierno de Chile, & Landeros, C. (s. f.). Avances en Ley de Infraestructura Crítica [Diapositivas]. Avances En Ley de Infraestructura Crítica. Cigre. https://www.cigre.cl/wp-content/uploads/2018/08/-CARLOS-LANDEROS.pdf

Gobierno Regional de Atacama, Pontifica universidad Católica de Chile, Moris, R., Moreno, O., Samur, S., Zaviezo, D., Palacios, S., Arizaga, X., Culawosky, R., Medina, J., Fenocchio, R., Orrego, R., Alemparte, C., & Díaz, M. (2019). Catálogo de áreas de interes turístico: Plan ciudad Copiapó cero (1.a ed.). https://copiapocero.cl/catalogo/catalogo_copiapo.pdf

Gómez, N. (2014). Climatología urbana de Copiapó como ciudad localizada en un medio ambiente árido [Pregrado inédita]. Universidad de Chile.

Griem, W. (s. f.). Listado cronológico de los eventos climaticos en Atacama, Chile. https://www.geovirtual2.cl/Clima/Histclima01.htm

Guerrero O. (2019). Componente físico - natural en la ordenación del territorio y desarrollo local (PODUL): vulnerabilidad urbana. ResearchGate.

Hurtado, T., & Bruno, G. (2005). El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la seleccion de proveedores [Tesis de pregadro, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/monografias/basic/toskano_hg/contenido.htm

Inostroza, L., Palme, M., & De la Barrera, F. (2016). A Heat Vulnerability Index: Spatial Patterns of Exposure, Sensitivity and Adaptive Capacity for Santiago de Chile. ResearchGate.

Instituto nacional de estadísticas. (2018). Manual de usuario de la Base de datos del Censo de Población y Vivienda 2017. En Ine.cl. https://redatam-ine.ine.cl/manuales/Manual-Usuario.pdf

Izquierdo, T., Abad, M., Bernárdez, E., & Palacio, A. T. (2016). Mapas de peligrosidad por inundaciones y flujos de fangos en zonas urbanas. El caso del 25 de marzo de. . . ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/308016840_Mapas_-de_peligrosidad_por_inundaciones_y_flujos_de_fangos_en_zonas_urbanas_El_caso_del_25_de_marzo_de_2015_de_Copiapo_Desierto_de_Atacama_Chile?enrichId=rgreq-633450f0226ccbe53b771ecf3eaa39e6-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMwODAxNjg0MDtBUzo0MDU0ODIzMzk2MTg4MjBAMTQ3MzY4NTkzMjMxNg%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf

Izquierdo, T., Abad, M., Gómez, Y., Gallardo, D., & Rodríguez-Vidal, J. (2021). The March 2015 catastrophic flood event and its impacts in the city of Copiapó (southern Atacama Desert). An integrated analysis to mitigate future mudflow derived damages. Journal Of South American Earth Sciences, 105, 102975. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102975

Jesús O,. Gutierres, Y. Rodríguez, J.(2011) Análisis de la vulnerabilidad y el riesgo a inundaciones en la cuenca bajo el río de Gaira, en el distrito de Santa Marta. Prospect, Volumen 9, No, 2, Pág 93 - 102.

Kill, J. (2022). Doble riesgo, la amenaza creciente que implica para la soberanía alimentaria y la agroecología las falsas soluciones climáticas. Amigos de la tierra internacional.

Kogut, P. (1970, 1 enero). Bandas Landsat 8: Combinaciones y usos en imágenes. EOS Data Analytics. https://eos.com/es/blog/bandas-landsat-8/

Lugares atacama. (s. f.). Salud Responde. https://saludresponde.minsal.cl/lugares-atacama/

Marín, M., & Salazar, E. (2015). Efectos geológicos del evento meteorológico del 24 y 25 de marzo de 2015, Observaciones geológicas de las comunas de Paipote y la ciudad de Copiapó, afectada por crecida del río Copiapó y remociones en masa de la quebrada Paipote (INF-ATACAMA-05). Sernageomin.

Marín, M., & Salazar, E. (2015). OBSERVACIONES GEOLÓGICAS DE LA COMUNAS DE PAIPOTE y LA CIUDAD DE COPIAPÓ, AFECTADA POR CRECIDAS DEL RÍO COPIAPÓ y REMOCIONES EN MASA DE LA QUEBRADA PAIPOTE. En Sernageomin (INF-ATACAMA-05). https://catalogobiblioteca.sernageomin.cl/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=312693

Municipalidad de Copiapó. (2019). MODIFICACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE COPIAPÓ: (Según art. 27 de la Ley 16.282 de Sismos y Catástrofes) PROVINCIA DE COPIAPÓ, REGIÓN DE ATACAMA. En Municipalidad de Copiapó - Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Nantes, E. A. (2019, 21 noviembre). El método Analytic Hierarchy Process para la toma de decisiones. Repaso de la metodología y aplicaciones. https://revistas.unc.edu.ar/index.php/epio/article/view/26474

Navarro, D., Vallejo, I., & Navarro, M. (2020). Análisis de la vulnerabilidad social a los riesgos naturales mediante técnicas estadísticas multivariantes. Investigaciones Geográficas, 74, 29–49.

Nayak, S., Shrestha, S., Kinney, P., Ross, Z., Sheridan, S., Pantea, C., Hsu, W., Muscatiello, N., & Hwang, S. (2018). Development of a heat vulnerability index for New York State. Public Health, 161, 127-137. https://doi.org/10.1016/j.puhe.2017.09.006

Ortega, F. (2018). Isla de calor urbana de Santiago y microclima en el espacio público: De la medición a la percepción [Magiste Urbanismo inédita]. Universidad de Chile.

Onu-Habitat. (s. f.). El radio caminable. https://onuhabitat.org.mx/index.php/el-radio-caminable

Palme, M. (2022). Identificación de patrones ambientales y morfológicos del fenómeno isla de calor en ciudades del Norte de Chile. ResearchGate.

Pardo, J. A. S., & Moreno-Garcia, M. C. (2016). El estudio de la isla de calor urbana en el ámbito mediterráneo: una revisión bibliográfica. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/312981419_El_estudio_de_la_isla_de_calor_urbana_en_el_ambito_mediterraneo_una_revision_bibliografica

Parque, C. M. (s. f.). Los adultos caminan máximo 10 minutos para llevar a sus hijos a las plazas – Fundación Mi Parque. https://www.miparque.cl/es/los-adultos-caminan-maximo-10-minutos-para-llevar-a-sus-hijos-a-las-plazas/

Picone, N. (2021). Impactos del crecimiento de las ciudades en los balances energéticos urbanos. El caso de Tandil, Argentina (2004-2017). Geográfica Digital, 18(35), 137. https://doi.org/10.30972/geo.18354635

Ramírez, L. M. A. (2012). La sociedad de riesgo en los países emergentes. Dialnet. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5253923

Recursos Naturales Comuna de Copiapó. (2021). Ciren.

Reid, C. E., O'Neill, M. S., Gronlund, C. J., Brines, S. J., Brown, D. G., Diez-Roux, A. V., & Schwartz, J. (2009). Mapping Community Determinants of Heat Vulnerability. Environmental Health Perspectives, 117(11), 1730-1736. https://doi.org/10.1289/ehp.0900683

Reporte final, Diagnóstico de Vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático. (2014). AdaptChile.

Rodíguez, J. M. V., & Calderón, A. P. A. (2017). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. Ciencia E Ingeniería Neogranadina, 27(2), 109-136. https://doi.org/10.18359/rcin.2309

Sofiea, C. & Proyecto cadenas de valor inclusivas y sostenibles. (2018). INFORME PRODUCTO 5: Presentación del Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo climático de los cultivos de café, cacao y quinua. https://cefaecuador.org/wp-content/uploads/2022/05/3_Analisis-de-Vulnerabilidad-y-Riesgo-climatico.pdf

Soto-Soto, J. E., Garzon-Barrero, J., & Jimenez-Cleves, G. (2020, 18 febrero). Análisis de islas de calor urbano usando imágenes Landsat: caso de estudio Armenia-Colombia 1996-2018. | Revista Espacios | EBSCOhost. https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A4%3A6313508/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A142568075&crl=c

Souza, E. (2024, 11 junio). Gravilla de ladrillo: un nuevo material para crear jardines de bajo consumo hídrico. ArchDaily En Español. https://www.archdaily.cl/cl/1016806/gravilla-de-ladrillo-un-nuevo-material-para-crear-jardines-de-bajo-consumo-hidrico?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_all

Suárez, C. M., & Zerené, G. S. (2015). Escasez y Sequía en acuífero del río Copiapó. revistaderechoambiental.uchile.cl. https://revistaderechoambiental.uchile.cl/index.php/RDA/article/view/40250

The World Air Quality Index project. (s. f.). Índice de calidad del aire en tiempo real para 100+ países. aqicn.org. https://aqicn.org/here/es/

Torres, M. (2020). Los rostros del hacinamiento en Chile. Idea País. https://ideapais.cl/wp-content/uploads/2022/08/Ideapais_Hacinamiento.pdf

Universidad De Chile Facultad de Arquitectura y Urbanismo, U., & Soto, O. V. (2019). Gestión del riesgo en Copiapó: hacia la construcción de una propuesta metodológica resiliente [Universidad de Chile]. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170456

Valdés Pineda, R., Valdés, J., & García Chevesich, P. (2017). Modelación de Crecidas Aluvionales en la Cuenca del Río Copiapó, Chile. ingeniería del agua.

Vich, A. I. J., & Beatriz, L. R. M. (2013, 1 septiembre). Estrategias de mitigación y control de aluviones e inundaciones en el centro oeste argentino. Caso: Gran Mendoza. https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/6186

Villatoro, B. (2019). Uso de índices de vegetación NDWI y MSI obtenidos de imagenes satelitales Sentinel - 2 y Landsat - 8, para monitereo de humedad como indicador de momento óptimo de cosecha de caña de azucar. https://cengicana.org/files/20200723113155764.pdf

Vivaldi, E., Vargas, G., Pérez, S., Aldunce, P., Flores, F., Ortega, C., Rondanelli, R., Rutllant, J., Molina, A., Arriagada, A., Fuentes, R., Izquierdo, T., Abad, M., Araza, B., Bernárdez, E., Arancibia, M., Castro, C., Magallanes, V., Soto, M., ... Torres, L. (2018). Aluviones y resiliencia en Atacama, construyendo saberes sobre riesgos y desastres. Social-Ediciones.

Zumelzu, A., Barría, T., & Barrientos-Trinanes, M. (2020). EFECTOS DE LA FORMA URBANA SOBRE LA ACCESIBILIDAD PEATONAL EN BARRIOS DEL SUR DE CHILE. https://www.redalyc.org/journal/1936/193662824001/html/