



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Pregrado
Carrera de Geografía

ESTUDIO DE LA ISLA DE CALOR URBANA EN
SANTIAGO CENTRO ENTRE 2016 Y 2017, BAJO LA
MIRADA DE LA PLANIFICACIÓN Y DISEÑO SENSIBLE
AL CLIMA.

Memoria para optar al título profesional de Geógrafa

ANA AMELIA LETELIER GREENSTEIN

Profesora Guía: Pamela Elisa Smith Guerra

Santiago - Chile

2020

AGRADECIMIENTOS

Agradezco poder agradecer. Hay pocas oportunidades en donde nos damos el tiempo de dejar plasmado en papel la importancia del grupo humano que nos rodea, aunque hoy sea en formato virtual. Así que iré en serio, dentro de lo que puedo.

Primero que nada y ante todo le quiero agradecer a las “K” por enseñarme lo que significa tener amigas y ser amiga. Ser parte de un grupo que apoya y protege de forma incondicional, con las que me atrevo a vulnerarme –aunque me cueste–, reírme hasta que me duela la guata, decir lo primero que viene a mi mente sin miedo a ser juzgada. Agradezco las horas que podemos pasar juntas sin la necesidad de llenar cada silencio: estar cómodas viviendo nuestros universos en conjunto.

Le agradezco en particular a la Ruth por ser mi primera amiga, mi protectora ante lo desconocido, mi guía fuera de mi zona de confort. A pesar de ser tan diferentes, nos queremos como hermanas que pueden vivir juntas en una pieza sin la tonta pelea. Por hacerme pie de limón y té de ajo cuando me enfermo. A la Cata por compartir mis gustos en cosas bizarras, por ser mi compañera de aventuras sin cuestionarlas y por cocinar rico como una chef. A la Isi por ser mi roomate, mi compañera de pega de todos los trabajos de la U, por elegir el mejor confort, por amar a quien amo y odiar a quien odio sin cuestionarlo dos veces y por las mañanas con bad bunny para “estar bien” durante el día. Las quiero, las amo y les agradezco. No solo a ustedes, sino a las mujeres que les dieron vida y quienes me han dado lindos recuerdos en sus hogares.

Al Lete y la Diane por darme contención y ser mis guías. Aunque no siempre lo diga, les agradezco la relación poco tradicional que tenemos porque me permiten ser la mujer independiente que soy y he sido. No me imagino estar donde estoy hoy si ustedes no hubieran confiado en mí desde pequeña para poder tomar buenas decisiones.

Al Claudio, mi único amigo del colegio, por ser mi persona y la única persona con la que puedo compartir todos mis secretos. Por sacarme de numerosos hoyos negros, traerme chocolate, escucharme y quererme. Por darme abrazos, porque sabe cuando los necesito. Por haber madurado juntos y querer mejorar como personas. Por obligarme a salir de paseo: no sé qué sería esta pandemia sin nuestros paseos.

A la Pame por guiarme durante este proceso. Gracias por responder mis dudas y darte el tiempo de escuchar mis rollos mentales.

Agradezco a CITIAPS. A la Caro y el Mauricio por confiar en mí y darme mi primera pega seria. Al Claudio A. por guiarme durante todo este proceso, sin importar la cantidad de pega que tenemos. Al Coloro por siempre escucharme y ser mi primer amigo en la pega. A la Ina por enseñarme lo que es la buena redacción y, junto a la Caro y el resto de las mujeres de citiaps, mostrarme la importancia de trabajar en espacios femeninos.

Por último, al Benito, esté donde esté.

Índice de Contenidos

Índice de Contenidos	3
Índice de Figuras	4
Índice de Tablas	6
Índice de Anexos	6
Resumen	7
Capítulo 1: Presentación	8
1.1 Introducción	8
1.2 Planteamiento del Problema	10
1.3 Objetivos	13
1.3.1 General	13
1.3.2 Objetivos Específicos	13
Capítulo 2: Estado del Asunto	14
2.1 Influencia de los Factores urbanos sobre la intensidad de la isla de calor urbana:	14
2.1 Superficie construida de la ciudad	14
2.2 Densidad de población	15
2.3 Acción Antropogénica	15
2.4 Áreas Verdes	15
2.5 Densidad Vehicular	16
2.6 Geometría Urbana	16
2.2 Efectos de la Isla de Calor urbana	17
2.3 Planificación y diseño sensible al clima	18
Capítulo 3: Planteamiento Metodológico	20
3.1 Área de Estudio	20
3.2 Metodología	23
3.2.1 Etapa 1: Recopilación de datos y Antecedentes.	23
A.- Obtención de los datos de temperatura diaria tanto urbana y rural entre los años 2016 y 2017 en la comuna de Santiago.	23
B.- Obtención de factores urbanos establecidos según recolección bibliográfica	28
C.- Recopilación de casos internacionales y nacionales para la planificación y diseño de los factores urbanos para mitigar y/o aprovechar las consecuencias de la isla de calor presente en el territorio.	30
3.2.2 Etapa 2: Aplicación de métodos	30
A.- Espacialización de la intensidad de ICU según temporada	30
B.- Obtención de los factores urbanos	31

C.- Determinación de la influencia de los factores urbanos sobre la intensidad de la ICU	33
3.2.3 Etapa 3 Análisis y Resultados:	34
A.- Intensidad de la Isla de Calor Urbana según la temporada del año en la comuna de Santiago	34
B.- Modelo de regresión lineal de la Intensidad de la Isla de Calor Urbana a partir de los factores urbanos	35
C.- Propuesta de lineamientos de planificación y diseño urbano a partir de los factores urbanos	35
3.2.4 Esquema Metodológico	36
Capítulo N°4: Resultados	37
4.1 Cálculo de la intensidad de la isla de calor urbana en la comuna de Santiago entre los años 2016 y 2017	37
4.1.1 Temporada de Invierno	37
4.1.2 Temporada de Otoño	39
4.1.3 Temporada de Primavera	42
4.1.4 Temporada de Verano	43
4.2 Identificación y evaluación de los factores urbanos que explican la intensidad del fenómeno de isla de calor urbana en la comuna de Santiago entre el año 2016 al 2017.	45
4.2.1. Temporada Invierno	45
4.2.2 Temporada de Otoño	48
4.2.3 Temporada de Primavera	51
4.2.4 Temporada de Verano:	54
4.2.5 Anual	57
4.3 Propuesta de lineamientos de planificación y diseño que consideren los factores urbanos explicativos de la intensidad de la isla de calor urbana en la comuna de Santiago enfocados en la mitigación y aprovechamiento de estas.	60
Capítulo 5: Discusiones y conclusiones	71
Bibliografía	75
Anexos	80

Índice de Figuras

Figura N°1: Cartografía área de estudio: Santiago Centro con comunas colindantes	21
Figura N°2: Cartografía área de estudio: Santiago Centro	22
Figura N°3: Estaciones Meteorológicas Urbanas	25
Figura N°4: Estación Meteorológica Rural	28
Figura N°5: Grilla Área de estudio	32
Figura N° 6: Esquema Metodológico	36
Figura N°7: Intensidad de ICU temporada de Invierno	38
Figura N°8: Focos de intensidad de ICU durante la temporada de Invierno	39
Figura N°9: Intensidad de ICU temporada de Otoño	41
Figura N°10: Focos de intensidad de ICU durante la temporada de Otoño	42
Figura N°11: Intensidad de ICU temporada de Primavera	43
Figura N°12: Intensidad de ICU temporada de Verano	44
Figura N°13: Focos de intensidad de ICU durante la temporada de Verano	45
Figura N°14: Modelo de Regresión Lineal; Intensidad de la ICU temporada de Invierno	47
Figura N°15: Focos de intensidad de ICU según Regresión Lineal, Invierno	48
Figura N°16: Modelo de Regresión Lineal; Intensidad de la ICU temporada de Otoño	50
Figura N°17: Focos de intensidad de ICU según Regresión Lineal, Otoño	51
Figura N°18: Modelo de Regresión Lineal; Intensidad de la ICU temporada de Primavera	53
Figura N°19: Focos de intensidad de ICU según Regresión Lineal, Primavera	54
Figura N°20: Modelo de Regresión Lineal; Intensidad de la ICU temporada de Verano	55
Figura N°21: Focos de intensidad de ICU según Regresión Lineal, Verano	56
Figura N°22: Modelo de Regresión Lineal; Intensidad de la ICU Anual	57
Figura N°23: Focos de alta intensidad de ICU según Regresión Lineal Anual (Gran tamaño)	58
Figura N°24: Focos de alta intensidad de ICU según Regresión Lineal Anual (Tamaño pequeño)	59
Figura N°25: Propuesta de planificación y diseño de superficie de área verde	67
Figura N°26: Propuesta de planificación y diseño de densidad poblacional	68
Figura N°27: Propuesta de planificación y diseño de altura de las construcciones	69
Figura N°28: Propuesta de planificación y diseño de calor emitido por el transporte público	70

Índice de Tablas

Tabla N°1: Cantidad de puntos de medición de temperatura según temporada del año	27
Tabla N°2: Factores urbanos y su origen	29
Tabla N°3: Propuesta de lineamientos de planificación y diseño territorial según factores urbanos	61
Tabla N°4: Comparación de temperatura de intensidad de ICU	71

Índice de Anexos

Anexo N°1: Altura de las construcciones, Santiago centro	80
Anexo N°2: Superficie de área verde, Santiago Centro	81
Anexo N°3: Densidad poblacional, Santiago Centro	82
Anexo N°4: Calor emitido del transporte público y privado, Santiago Centro	83

Resumen

El crecimiento exponencial de las megaciudades en la última década ha traído consigo la creación de nuevos problemas urbanos. Entre ellos destacan la generación de climas urbanos que hoy son uno de los componentes principales del cambio climático. Estos climas urbanos generan un fenómeno, causado por una variedad de factores tanto naturales como antrópicos, denominada isla de calor urbana (ICU), que representan la formación de gradientes térmicos entre las áreas urbanas y rurales, producto de la diferencia de temperatura. Varios autores han planteado que las ICU no son solo un fenómeno que se genera por la gradiente de temperatura entre el espacio urbano y rural sino también efecto de una variedad de factores urbanos que influyen sobre el modelamiento e intensidad del fenómeno. En la comuna de Santiago centro está presente el fenómeno de ICU con una intensidad de hasta 4°C sobre el resto de la Región Metropolitana.

Durante la presente investigación se calculó la intensidad de la isla de calor en la comuna de Santiago centro, entre los años 2016 a 2017, según las diferentes temporadas del año. Luego, se construyeron modelos de regresión lineales multivariantes para determinar cómo influyen los factores urbanos -altura de las construcciones, densidad poblacional, superficie de área verde y el calor generado del transporte público y privado- sobre la intensidad de la ICU en las diferentes temporadas del año. Luego, se generaron propuestas de planificación y diseño sensibles al clima utilizando como ejemplo casos internacionales y nacionales en donde se planificó el territorio a partir de los factores urbanos identificados que más peso tienen sobre la intensidad de la ICU.

Los resultados de la investigación concluyeron en primer lugar que la intensidad de la ICU cambia según la temporada del año. Luego se determinó que la densidad poblacional es el factor urbano que mayor influencia directa tiene sobre la intensidad de la ICU en todas las temporadas del año. Sumado a que la superficie de área verde siempre tiene una influencia inversa sobre la intensidad de la ICU. La altura de las construcciones también influye de forma directa sobre la intensidad del fenómeno estudiado pero en menor medida que la densidad poblacional. En cambio, el calor emitido por el transporte público y privado no precisa una influencia constante sobre la intensidad de la ICU si no que depende de la temporada del año. Por último, se identificaron varias zonas en la comuna de Santiago centro en donde los factores urbanos juegan un rol importante sobre la intensidad de la ICU, en donde sería posible aplicar instrumentos de planificación y diseño urbano con el fin de mitigar y/o aprovechar la ICU.

Por último, se establece la importancia de planificar y diseñar el territorio desde una mirada sensible al clima y considerando el cambio climático con el objetivo de generar espacios armoniosos para ser habitados dentro del nuevo escenario mundial.

Palabras Claves: Isla de calor urbana, factores urbanos, gradiente de temperatura, modelamiento, planificación y diseño sensible al clima.

Capítulo 1: Presentación

1.1 Introducción

El gran flujo de habitantes desde el campo a la ciudad que ha ocurrido desde la Segunda Guerra Mundial ha cambiado el panorama urbano, sobre todo en Latinoamérica donde existen varias megaciudades. Estos conglomerados urbanos presentan nuevos problemas sociales, políticos y ambientales. Entre ellos se destaca la generación de los climas urbanos, que representan un componente principal del cambio climático generando así ‘islas de calors’ que son causadas por los procesos de urbanización y la composición socioeconómica de la ciudad (Romero et al., 2010). Estos procesos de urbanización exponencial influyen directamente sobre el cambio climático y aumentan la intensidad de la isla de calor urbana que ya presente un efecto apreciable en la calidad de vida urbana.

En 1960 sólo el 30% de la población mundial vivía en zonas urbanas, hoy esta tasa rodea el 60% de la población mundial total (Banco Mundial, s/f). Esto significa que en los últimos 60 años la población urbana mundial se ha duplicado, es más, en algunos países desarrollados, la población urbana se aproxima al 80%. En relación con esto, el crecimiento de la población humana continúa creciendo exponencialmente, demostrando una tasa media de 1% anual y un crecimiento urbano poblacional de una tasa de 1,8% anual, casi el doble en su relación (Observatorio Demográfico, 2016). Se espera que para el 2050 la población urbana mundial sea 50% más de lo que es hoy (Naciones Unidas, 2018). De hecho, según el estudio de The Lancet se demuestra que la población tendrá un *peak* de 9.8 billones de personas hacia el año 2040 (Vollset et.al, 2020).

La rápida urbanización a lo largo del mundo ha traído una serie de consecuencias, entre ellas, pérdida de áreas verdes, reducción en la captación de gases de carbono, mayor emisión de contaminantes atmosféricos, impermeabilización de los suelos y almacenamiento de calor en estructuras, superficies y aire, dando origen a la llamada isla de calor urbana (Grimmond, 2007). Pero, la temperatura urbana no solo es afectada por las condiciones antrópicas del medio, como la densidad de la población y la altura de las edificaciones, sino también por las variables naturales como los vientos, humedad, precipitaciones y nubosidad (Givoni, 1998). En cuanto a las emisiones de carbono, el 97% de ellas son del CO2 antropogénico de las zonas urbanas provenientes del transporte (60%) y la construcción industrial (40%) entre otros elementos (Svirejeva-Hopkins & Schellnhuber, 2004). Esto demuestra entonces que la urbanización tiene un impacto sustancial sobre los cambios de temperatura y clima que enfrenta la tierra actualmente.

En 2018, el IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) publicó un estudio donde señala que el clima de la Tierra está cambiando sumado a que la temperatura mundial de la superficie ha aumentado. La mayor parte del aumento se ha dado después de 1976, siendo la década de los noventa la más cálida (IPCC, 2018). En los sistemas urbanos las áreas verdes proveen sombra, frescor, refugio a la lluvia, humedad y filtración de aire, en contraposición con las edificaciones

que son estructuras que almacenan calor (Huang et al., 2007). Mientras que las áreas rurales al presentar construcciones pequeñas y grandes extensiones de área verde almacenan una cantidad pequeña de calor. Esto conduce a la formación de gradientes térmicos entre las áreas urbanas y rurales producto de la diferencia de temperatura urbana y rural. Estas diferencias de temperatura se conocen bajo el fenómeno denominado isla de calor urbana (ICU).

La isla de calor urbana que se manifiesta a lo largo del mundo se genera por la interacción entre una serie de factores que determinan su intensidad. Estos parámetros no tienen necesariamente, una influencia homogénea sobre la intensidad de las ICU. En cada espacio geográfico y escala son diferentes los parámetros que interactúan entre sí para formar el fenómeno de las ICU y pueden tener una influencia y peso diferente. En Santiago de Chile, por ejemplo, la isla de calor se asemeja más a las encontradas en ciudades europeas producto de la intensidad de la temperatura de la ICU que tiende a encontrarse entre 9,6 °C y 13,6 °C. Además de que la morfología urbana es más similar en Santiago y en algunas ciudades de Europa, y se espera que producto de la rápida urbanización de la ciudad la magnitud de este fenómeno aumente (Sarricolea & Martín-Vide, 2013).

Por la fuerte relación de la ICU con los procesos de urbanización, tanto en su generación como en sus consecuencias, es necesario considerarlas en el diseño y planificación urbana. Tomando en cuenta las ICU, es necesario recalcar que pueden ser tanto mitigadas como aprovechadas dentro de un territorio, si es que existen las condiciones de trabajo correctas, y acompañadas de tecnologías y características urbanas tales como calzadas y veredas, la forestación urbana, las áreas de estacionamiento vehicular y otros componentes urbanos (Papparelli & Kurbán, 2011).

1.2 Planteamiento del Problema

Entre los años 2010 y 2016 el fuerte desarrollo inmobiliario del Gran Santiago generó un alza en las temperaturas de las diferentes comunas, en especial aquellas con menor presencia de áreas verdes. En el caso de la comuna de Santiago Centro, las temperaturas han aumentado radicalmente por sobre el resto de los sectores de la capital en parte debido al desarrollo inmobiliario que supera hasta un 50% respecto a otras comunas de la Región Metropolitana (Arce, 2019). De hecho, en la ciudad de Santiago es posible encontrar una intensidad de ICU de 4°C por sobre la temperatura normal respecto al resto de la Región Metropolitana. Tal elevación es producida por una serie de factores urbanos (Smith, 2011).

La isla de calor urbana (ICU) se define como una diferencia de temperatura entre las áreas urbanas y sus alrededores, sean estas zonas rurales, periurbanas, etc. Las causas principales del fenómeno de las ICU se asocian con los cambios que el desarrollo urbano hace al balance energético sobre el sitio en el cual se construye la ciudad. Entre algunas de las causas que inciden sobre el balance energético destaca la utilización de materiales con una alta capacidad de absorción y retención del calor solar, conocido como albedo (Gartland, 2008). Además de los materiales empleados en el desarrollo de las ciudades, hay otra serie de parámetros que también influyen en la generación de las ICU, tales como; el tipo de edificación, la densidad de población, la intensidad de los flujos vehiculares, el tamaño de la ciudad, la presencia de áreas verdes, etc. (Gálvez, 2014) conocidos como factores urbanos.

La estacionalidad de la isla de calor ha sido un tema importante en el estudio del fenómeno. Algunos autores sostienen que es más intensa en verano. Por el contrario, otros autores como Liu *et al.* (2007) indican que presenta una mayor intensidad en el invierno. Gedzelman *et al.* (2003) proponen que la máxima intensidad de las ICU está en las estaciones de otoño y verano, a diferencia de Kim y Baik, 2002 que rectifican que la mayor intensidad se da entre el otoño y el invierno. Por lo tanto, las diferentes aproximaciones en torno a la máxima intensidad de la isla de calor urbana, probablemente dependerá de la localización geográfica de la ciudad estudiada, los factores que la componen y sus condiciones climáticas respectivas (Sarricolea *et al.*, 2008).

Para estudiar el fenómeno de isla de calor en la ciudad es necesario identificar tres parámetros: la intensidad, la forma y la localización de su máximo térmico. La intensidad se mide a través de la magnitud del fenómeno y se analiza producto de la “*Máxima diferencia de temperatura que es capaz de alcanzar, en su máximo térmico dentro de la capa urbana, con respecto a la de su entorno natural más inmediato para un momento determinado*” (Gartland, 2008, pg. 3).

Por ejemplo, en un estudio desarrollado por Sarricolea, Aliste, et al. (2008) que determinó la máxima intensidad de la ICU en Rancagua, se concluye que durante el verano y la primavera la isla de calor urbana se aproxima a los 6°C, mientras que en otoño e invierno se acerca a los 3°C (Sarricolea et al., 2008). La medición de este parámetro debe ser a partir de una serie de factores

urbanos, tales como la morfología, altitud, etc. En segundo lugar, la forma que toma una isla de calor urbana es un parámetro determinado por la distribución espacial de las isotermas que tienden a tener un patrón que se ajusta a la configuración espacial de la ciudad (Gálvez, 2014). Por último, el parámetro de máximos térmicos se refiere al área en donde existe la mayor diferencia de temperatura entre la zona urbana con punto de referencia en una zona rural (Cuadrat et al., 2005).

A partir de los procesos de urbanización del último siglo, es posible identificar una relación entre los factores urbanos que componen una ciudad, tales como, la densidad de la población, la superficie de áreas verdes, la altura de las edificaciones, etc. con la intensidad de la ICU. Sin lugar a duda, los procesos de urbanización han alterado el balance de energía generando así una serie de consecuencias dentro de las ciudades modernas entre ellas destaca para el estudio la generación del fenómeno de isla de calor urbanas (Villanueva-Solis *et al.*, 2013).

La isla de calor urbana tiene una serie de impactos sobre las ciudades, entre ellos, cambios en la tasa y ritmo de precipitación, incremento de nieblas y nubes. Además, las ICU pueden tener un impacto nocivo sobre el bienestar y salud de los habitantes de un área urbana (Wenzel *et al.*, 2007). En especial cuando este fenómeno se asocia con olas de calor extremas que pueden producir muertes relacionada a ella, como fue el caso de las olas de calor entre junio y julio del año 2017 en Francia que según el ministro de salud del país, produjo alrededor de 980 muertes (Berlinger, 2019). El reconocimiento de los efectos nocivos de las ICU ha creado una necesidad en las ciudades de implementar una serie de tecnologías y políticas centradas en mitigar y/o aprovechar este fenómeno socio natural.

Cada localización geográfica presenta una variedad de parámetros que pueden influir sobre las ICU y, por lo tanto, es importante determinar cuales son los factores urbanos con más peso sobre la intensidad de la isla de calor urbano. Además, conociendo estos factores es posible determinar medidas de planificación y diseño urbano enfocados en mitigar y/o aprovechar los efectos de la isla de calor a través del manejo de estos.

La comuna de Santiago Centro es una excelente área de estudio para investigar la importancia de los factores urbanos sobre la intensidad de la isla de calor urbano. En primer lugar, porque existe una necesidad de controlar la temperatura en esta comuna. Según un estudio del Ministerio del Medio Ambiente, para el año 2050 la temperatura de la ciudad de Santiago subirá en un 2, 7° C (González, 2016). En segundo lugar, al ser una urbe de desarrollo urbano y económico del país es un buen territorio en donde empezar a pensar sobre cómo planificar y diseñar los espacios para un mejor habitar en relación con los cambios climáticos que están ocurriendo. Es necesario comprender que cada localización geográfica presenta una variedad de parámetros que pueden influir y que estos pueden cambiar dependiendo de la escala con la cual se analiza la problemática. Durante esta investigación se trabajará con una escala comunal usando como área de estudio la comuna de Santiago. Además, conociendo los factores explicativos es posible determinar medidas

de planificación y diseño urbano enfocados en mitigar y/o aprovechar los efectos de la isla de calor a través del manejo de los factores.

Tomando como área de estudio la comuna de Santiago entre el año 2016 al 2017, la presente memoria tiene como preguntas de investigación: **¿Cuáles son los factores urbanos con mayor influencia sobre la intensidad de la isla de calor urbana a escala comunal? y ¿De qué forma la planificación y diseño urbano pueden mitigar y/o aprovechar su efecto?**

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Proponer un modelo de regresión lineal a partir de los factores urbanos que explican la intensidad de la isla de calor urbana en la comuna de Santiago Centro entre el 2016 al 2017 como base para proponer medidas de planificación y diseño urbano que aporten a la mitigación y/o aprovechamiento del fenómeno.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Calcular la intensidad de la isla de calor urbana en la comuna de Santiago entre enero del 2016 y diciembre del 2017.
2. Identificar los factores urbanos que explican la intensidad del fenómeno de isla de calor urbana en la comuna de Santiago Centro, utilizando un modelo de regresión lineal.
3. Proponer lineamientos de planificación y diseño que consideren los factores urbanos explicativos de la intensidad de la isla de calor urbana en la comuna de Santiago.

Capítulo 2: Estado del Asunto

2.1 Influencia de los Factores urbanos sobre la intensidad de la isla de calor urbana:

Para comprender la intensidad de la isla de calor urbana y su fluctuación en el espacio es necesario analizar las variables que tienen impacto sobre ellas. El estudio llevado a cabo por Paravantis et al. (2015) en donde se recopilaron estudios mundiales respecto a la intensidad de la isla de calor y las causas que provocan el fenómeno, dejan en claro que los factores de gran importancia a la hora de comprender la intensidad de la ICU son la urbanización (la cantidad de población y tamaño de la ciudad); vegetación (presencia de áreas abiertas y verdes); el uso de la tierra, albedo superficial y presencia de superficies impermeables; geometría urbana; la intensidad del tráfico por carretera y la contaminación del aire urbano (Paravantis et al., 2015).

La influencia de estos factores sobre la intensidad del fenómeno no actúa en todos los territorios de la misma forma. Según Hathway, (2012) estos factores pueden variar dependiendo de la localización geográfica en donde se estudia el fenómeno, pero hay varios factores urbanos que se repiten a lo largo de varios estudios tales como; superficie construida de la ciudad, densidad de la población, acción antropogénica, áreas verdes, y densidad vehicular. Por lo tanto, sería correcto suponer que estos elementos influyen sobre el fenómeno de ICU sin importar su localización geográfica. A continuación, se presentan detalles sobre esta serie de factores que podrían influir en la intensidad y magnitud de la isla de calor urbanas.

2.1 Superficie construida de la ciudad

Existe una relación directa entre la isla de calor urbanas y la superficie construida de la ciudad. Esto, debido a que los materiales que componen tanto la superficie y las edificaciones de una ciudad influyen sobre el fenómeno de las ICU producto de la capacidad de absorción y reflexión, lo que se conoce como albedo y a su vez sobre la capacidad calórica que presentan los diferentes materiales (por ejemplo hormigón, acero, asfalto, etc.). El albedo es el porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre la misma. La emisividad infrarroja es la propiedad que indica la eficacia con que la superficie emite la radiación térmica. La relación entre el albedo y la emisividad infrarroja depende del tipo de suelo, humedad de la superficie y cobertura de vegetación. Por ende, la presencia de gran cantidad de superficie construida sea en formato de calles, edificios, etc. provocará una mayor capacidad de retención del calor y un aumento de la temperatura urbana. Por lo tanto, la extensión superficial de la ciudad y el comportamiento térmico-ambiental de los materiales que la componen serán un factor importante en el impacto sobre las temperaturas urbanas y la intensidad de la ICU (Meneses, 2017).

2.2 Densidad de población

Otro factor importante que tiene relación directa con la isla de calor en una ciudad es la densidad de población. Sea esta densidad analizada desde un punto de vista residencial o desde las migraciones diarias de personas que realizan una actividad económica dentro de un área determinada. Según Sailor (2004), la intensidad de la isla de calor es diferente en función del periodo del día (mañana, tarde y noche) en cual se estudia. Esta fluctuación de personas a lo largo de un día en la ciudad ocurre como consecuencia de las necesidades cotidianas, comprendiendo que las personas transitan a lo largo del territorio a sus lugares de trabajo y a sus hogares. A partir de lo anterior, se espera que la intensidad de la isla de calor en Santiago Centro sea mayor en la mañana y en la tarde que en la noche, producto de la gran cantidad de población flotante que trabaja en el sector, pero no reside ahí. El año 2006 se realizó un estudio en donde se analizaron las correlaciones entre el número de habitantes y el incremento de las ICU (Martín-Vide & Cordobilla, 2015) el cual sugiere que la densidad de población tiene dos efectos en la generación de la ICU, una directa y otra indirecta. La directa está relacionada con el metabolismo de las personas, a mayor número de personas es mayor el calor emitido por las mismas; y la indirecta, que influye de manera más significativa en el efecto de la ICU, pues a mayor población se incrementa el número de edificios, vehículos, fábricas, etc. (Sangines, 2013).

2.3 Acción Antropogénica

Algunos autores (Useros, 2012) plantean que las diferentes actividades humanas que generan calor en forma de calor antropogénico son un factor importante a la hora de analizar los fenómenos de las ICU. En general, el calor proporcionado por las diversas actividades humanas eleva las temperaturas de la ciudad. Este calor, en su mayoría, proviene de la emisión de los automóviles y los sistemas de aire acondicionado y es emitido directa e instantáneamente al ambiente por lo que es un elemento importante a la hora de analizar los factores que contribuyen en la intensidad y magnitud del fenómeno estudiado.

2.4 Áreas Verdes

La presencia y extensión de áreas verdes presentes en una zona urbana es un indicador clave en el fenómeno de isla de calor presente en una ciudad. La extensión de áreas verdes de una ciudad tiene la capacidad de reducir el tamaño e intensidad de las ICU debido principalmente al mecanismo natural de refrigeración denominado evapotranspiración. En un estudio, Kondoh et al. (1999) demostró que el decremento de zonas verdes reduce la evapotranspiración y por ende, eleva de manera proporcional la temperatura urbana. La presencia de vegetación en un área urbana provee de sombra a la ciudad que ayuda a mantener la temperatura superficial baja. La pérdida de cobertura vegetal y su sustitución por superficies impermeables como calles, techos y construcciones provoca que el agua se dirija directamente a acueductos y alcantarillados evitando que esta se evapore para mantener la humedad en el ambiente. Por ende, existe una relación estrecha entre la cantidad de suelo natural y el suelo pavimentado. Además, algunos estudios han

identificado que el tipo de especie presente en una ciudad guarda una relación directa con el fenómeno de isla de calor (Kleerekoper et al., 2012).

2. 5 Densidad Vehicular

La densidad vehicular y el tipo de vehículo usado (privado vs público, diésel vs gasolina, etc.) es un factor que tiene incidencia directa sobre la localización, tamaño e intensidad de la isla de calor. Según Gálvez (2014) es posible, al igual que con la densidad de la población, estimar la variación espacial y temporal de la isla de calor en función del tráfico, donde, cuanto mayor sea la congestión vehicular mayor será el fenómeno. Por tanto, se trata de una correlación positiva (Elsayed, 2012), es decir, aumenta la intensidad de la isla de calor.

2.6 Geometría Urbana

Este factor comprende la organización del territorio y la dimensión de sus componentes físicos por la cual fluye el viento, se absorbe energía y se emite la radiación térmica. Por lo tanto, la geometría urbana hace alusión a la disposición de las construcciones a lo largo del asentamiento urbano. Según Meneses (2017) la geometría urbana tiene una mayor influencia nocturna debido a que ocurre un fenómeno conocido como “cañón urbano” en donde el calor liberado por las estructuras durante la noche alcance una altura donde no es apreciable su efecto, pero quedando “atrapado” y por ende calentando el aire durante el proceso. Durante el día, el cañón urbano tiende a actuar de manera positiva ya que provee sombra en esa zona.

Es necesario comprender que los factores descritos anteriormente (densidad poblacional, geometría urbana, densidad vehicular, superficie de área verde, acción antropogénica y superficie construida de la ciudad) no son los únicos que influyen en la intensidad y tamaños de la isla de calor urbana superficiales. Eso sí, en la mayoría de los casos tienden a ser los factores explicativos que más resaltan y presentan una incidencia mayor sobre este tipo de fenómeno. Otros factores importantes podrían ser la latitud, niveles de polución, la topografía, cuerpos de agua, radiación etc. Dependiendo del estudio y su enfoque, la importancia de los factores explicativos de la isla de calor puede ir variando, pero es necesario comprender que es a través de una combinación de elementos que este fenómeno se intensifica. Es por esto que, luego de comprender algunos elementos causantes de las ICU, es necesario identificar diferentes medidas de mitigación para ello.

2.2 Efectos de la Isla de Calor urbana

Tal como se explicó anteriormente, el fenómeno de isla de calor aumenta la temperatura de las ciudades respecto a las zonas periurbanas y rurales adyacentes a ella. Esto trae consigo una serie de consecuencias negativas sobre los habitantes de la ciudad y el medio ambiente. El aumento de temperatura en las ciudades genera la necesidad de consumir una mayor cantidad de energía eléctrica para poder tener una calidad de vida acorde al confort térmico necesario. Es por esto que se emplea una mayor cantidad de sistema de refrigeración y aire acondicionado, el cual es utilizado para el enfriamiento de los espacios residenciales y en algunos casos públicos. Por lo que existe *“un mayor consumo energético y generación de gases contaminantes como óxidos de sulfuros, monóxido de carbono, y óxidos de nitrógeno”* (Tumini, 2010).

Este aumento en la temperatura trae consigo una serie de consecuencias como, por ejemplo, la liberación de óxido de nitrógeno (NOx) producto de procesos de combustión a alta temperatura. Estos procesos de combustión tienden a ser producto de los tubos de escape de los vehículos motorizados, combustión de carbón o petróleo, etc. Este gas es muy contaminante para el medio ambiente y nocivo para las personas. Al entrar en contacto con el aire y el sol este óxido puede llevar a la formación de lluvia ácida o a la formación de ozono y smog del aire que respiramos (ATSDR, 2016). Por ende, al aumentar la temperatura en zonas urbanas la población urbana se encuentra en un mayor riesgo de sufrir efectos nocivos de calor. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) altos niveles de NOx se pueden asociar a enfermedades respiratorias graves (OMS, 2018). Por ende, el efecto de tener presencia de ICU dentro del área urbana puede traer consigo un potencial efecto nocivo a la salud.

Ahora bien, la isla de calor urbana no solo puede tener consecuencias negativas sobre los asentamientos humanos, existen casos también en donde se puede aprovechar el calor producido en el fenómeno de isla de calor urbana para ser utilizado con otro fin. Por ejemplo, un estudio en Estocolmo demostró una forma de aprovechar el calor emitido a causa de la acción antrópica provocada por las personas y ser aprovechado para calefaccionar un edificio durante la temporada de invierno. A través del diseño sensible al clima la ciudad fue capaz de canalizar el calor emitido a través de un sistema para recoger el calor sobrante a través de pequeñas bombas y aprovecharlo para calentar un edificio (Kelly, 2010).

De acuerdo con lo anterior, los efectos de la isla de calor urbana pueden ser aprovechados o mitigados en el territorio en donde se producen. Es por esta razón que existe una necesidad hoy de generar una adaptación del cambio climático a través de medidas de mitigación y aprovechamiento de las ICU en las ciudades a partir de la planificación y diseño territorial.

2.3 Planificación y diseño sensible al clima

Producto del cambio de la temperatura en las ciudades en los últimos 40 años es necesario producir una adaptación al cambio climático dentro de varios aspectos de la vida cotidiana. Esta adaptación hace referencia a “*ajustar los sistemas naturales o humanos como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos*” (Annex & Parry, 2007). La adaptación es un proceso enfocado a reducir la vulnerabilidad, exposición o sensibilidad a los impactos del cambio climático en especial para las poblaciones más vulnerables de un territorio. Para lograr este objetivo es necesario analizar la situación actual de los impactos climáticos, así como analizar los impactos futuros (IISD, 2010). Teniendo esta información es posible implementar medidas de planificación y diseño adecuadas para la adaptación climática actual como futura.

Como se mencionó anteriormente el clima en la ciudad depende de factores tales como el uso del suelo, la geometría de la construcción y los materiales de construcción, etc. Los rápidos cambios en la temperatura, el viento y la humedad generados por el paisaje urbano influyen en la comodidad y la salud de las personas, así como en el consumo de energía y la calidad del aire. Por lo tanto, existe en el día de hoy la necesidad de planificar y diseñar las ciudades teniendo siempre en cuenta un factor climático cada vez más desafiante. La planificación y diseño urbano son herramientas críticas para la respuesta integrada de la mitigación y adaptación de los desafíos del cambio climático. A través de estas herramientas de organización del territorio es posible influenciar buenas políticas públicas del espacio para configurar comunidades saludables y dinámicas (Raven, 2018).

Tradicionalmente la planificación y diseño urbano se han enfocado en patrones de asentamiento, el uso optimizado de la tierra, la proximidad maximizada, la participación de la comunidad, la creación de lugares, la calidad de vida y la vitalidad urbana (Dursun & Yavas, 2015). Hoy es necesario expandir el enfoque para incluir iniciativas dirigidas a paliar el cambio climático. Especialmente en la pequeña escala, incorporando dentro del diseño y planificación territorial elementos como los bioclimas urbanos y el uso de la eficacia energética dentro de las edificaciones (Arellano & Roca, 2015). A pesar de la gran cantidad de estudios científicos en torno a los efectos de la urbanización en el clima y los efectos que puede tener la urbanización sobre la salud y la calidad de vida de las comunidades urbanas (Conde, et al., 2013). Aun así, la planificación y diseño territorial aún no parecen haberse adaptado completamente a la nueva realidad climática.

Según Oke (2017), la planificación y diseño sensible al clima se centra en generar espacios públicos placenteros para las comunidades a través de herramientas de diseño, tales como la utilización de árboles, recursos hídricos, etc. Estas intervenciones tienen que ser dentro de una ciudad para, así como se mencionó anteriormente tener un efecto positivo dentro de la pequeña y gran escala. El autor también propone que para lograr una adecuada planificación y diseño del territorio centrado en el cambio climático es necesario identificar “*¿Qué hace que una ciudad esté*

bien planificada y diseñada desde una perspectiva climática?” a partir de esta interrogante el autor propone los siguientes lineamientos:

- La ciudad es eficiente en el uso de recursos (tierra, materiales energéticos, agua, etc.) para minimizar su impacto global y regional (por ejemplo, emisión de contaminantes del aire y gases de efecto invernadero, degradación del agua, generación de residuos).
- Los vecindarios de la ciudad están diseñados para mejorar los microclimas que rodean los edificios y sus alrededores (o al menos no empeorarlos).
- Las personas y la infraestructura están protegidas de los fenómenos meteorológicos extremos al considerar la variabilidad climática actual y futura.

(T.R. Oke, 2017)

Cumpliendo con estos principios es que se podría tener una ciudad, barrio o región adaptada al cambio climático con lineamientos de planificación y diseño territorial que velan por la salud y calidad de vida de sus habitantes a través de la mitigación y/o aprovechamiento de las condiciones climáticas.

Capítulo 3: Planteamiento Metodológico

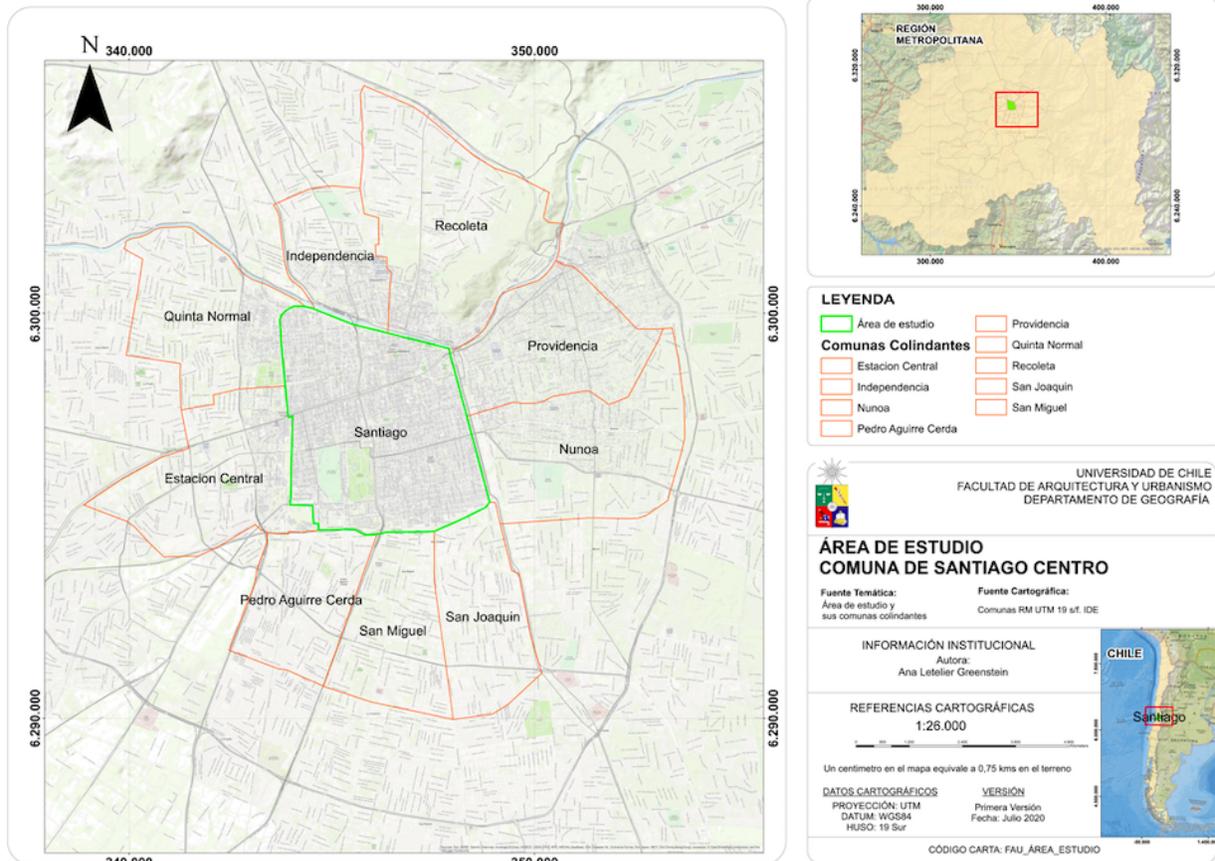
3.1 Área de Estudio

La comuna de Santiago, normalmente conocida como Santiago centro (Figura N°1 y Figura N°2), ubicada en la Región Metropolitana ($33^{\circ}27'00''S$ $70^{\circ}40'00''O$) posee una superficie de 23,2 km² (SECPLAN, 2014) y una población de 404.495 habitantes (INE, 2017). Además, esta comuna actúa como uno de los centros comerciales, económicos y turísticos principales de la RM, por lo que alberga en especial durante los días de la semana aproximadamente 2.5 millones de población flotante entre lunes y viernes (Observatorio de Ciudades, 2014).

Según De Mattos et al. (2014) en los últimos 20 años el crecimiento de la comuna ha sido dominado por la expansión urbana, que consta de una expansión residencial además de la multiplicación de actividad comercial, de negocios, de servicios y de equipamiento para servir a la creciente población. La densidad de la población de la comuna es de 139 habitantes por hectárea, siendo la segunda con mayor densidad de la región, existiendo áreas dentro de ella donde sobrepasa los 200 habitantes por hectárea (Ilustre Municipalidad de Santiago, 2016). Además de ser la tercera comuna de la Región Metropolitana con mayor cantidad de viviendas, (151.662 para el año 2017), lo cual en relación con el año 2002 (77.514 viviendas), indica que hubo un crecimiento de un 95,7% (SECPLAN, 2014).

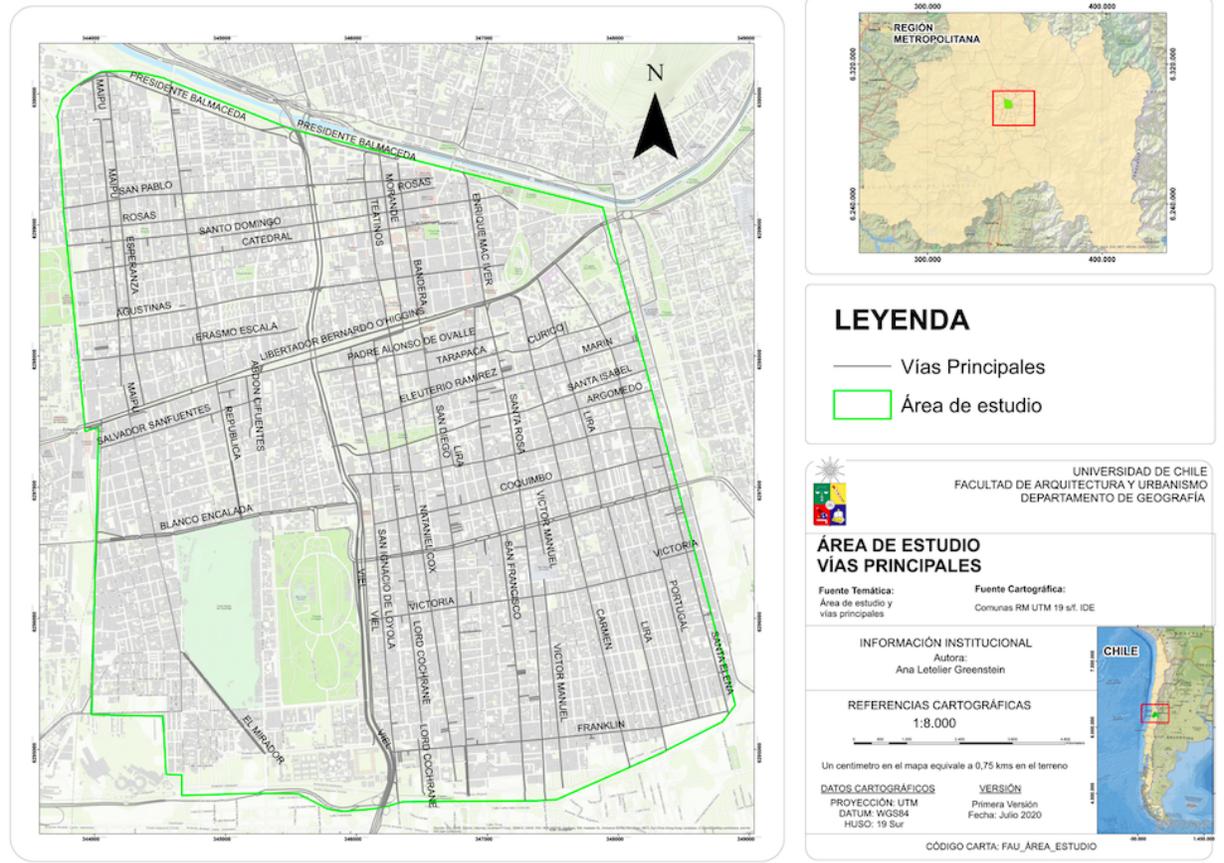
En cuanto a los antecedentes socioeconómicos, la evolución de la pobreza ha presentado un comportamiento irregular. Para el año 1994, el índice era de un 9,3%, y durante los siguientes cuatro años, presentó una fuerte baja, disminuyendo a un 4,8%. Luego, para el año 2000, volvió a presentar un ascenso, manteniéndose entre un 7,8% y un 8,2% durante los siguientes nueve años, hasta presentar una nueva caída hasta el 5,7% el año 2011, posicionándose en quinto lugar de las comunas con menor índice de pobreza (SECPLAN, 2014). En el 2019, la comuna de Santiago Centro fue clasificada en la 43° posición respecto al índice de prioridad social, esto hace referencia a los ingresos, educación y salud. Se trata de un índice sintético cuyo valor numérico permite dimensionar el nivel de vida relativo alcanzado en un momento del tiempo por la población de una comuna (Gajardo, 2019).

Figura N°1: Cartografía área de estudio: Santiago Centro con comunas colindantes



Fuente: Elaboración Propia a partir de Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, 2019

Figura N°2: Cartografía área de estudio: Santiago Centro



Fuente: Elaboración Propia a partir de INE, CENSO 2017, 2019

3.2 Metodología

A continuación, se presenta el planteamiento metodológico sobre el cual se centra la presente investigación. Esta investigación utilizó una metodología cuantitativa. La determinación de la intensidad de la isla de calor urbana y el comportamiento de los factores urbanos sobre el fenómeno depende de datos y estudios cuantitativos. Las propuestas de lineamiento de planificación y diseño territorial están apoyadas en experiencias e ideas que también pueden ser clasificadas de forma cuantitativa centradas en la recopilación bibliográfica. Esta metodología consta de tres etapas metodológicas que son descritas a continuación.

3.2.1 Etapa 1: Recopilación de datos y Antecedentes.

Esta etapa se centra, en primer lugar, en la obtención de los datos de temperatura diaria tanto urbana y rural necesarios para determinar la intensidad de la isla de calor entre los años 2016 y 2017 en la comuna de Santiago. Este rango de tiempo se utilizó debido a que los datos provenientes de la Red Nacional de Monitoreo (RENAM) recolectados de la temperatura diaria son constantes y representativos durante estas fechas. Además, se obtuvieron los datos de los factores urbanos de densidad poblacional, altura de las construcciones, superficie de área verde, calor del transporte público y privado, necesarios para analizar su influencia sobre la intensidad de la ICU. Por último, durante esta etapa se recopila información secundaria tanto de casos internacionales como nacionales en donde se utilizó la planificación y diseño de los factores urbanos para mitigar y/o aprovechar las consecuencias de la isla de calor presente en el territorio.

A.- Obtención de los datos de temperatura diaria tanto urbana y rural entre los años 2016 y 2017 en la comuna de Santiago.

Para poder determinar la intensidad de la ICU es necesario tener datos de temperatura tanto del área urbana y el área rural adyacente debido a que la fórmula para su cálculo es la siguiente:

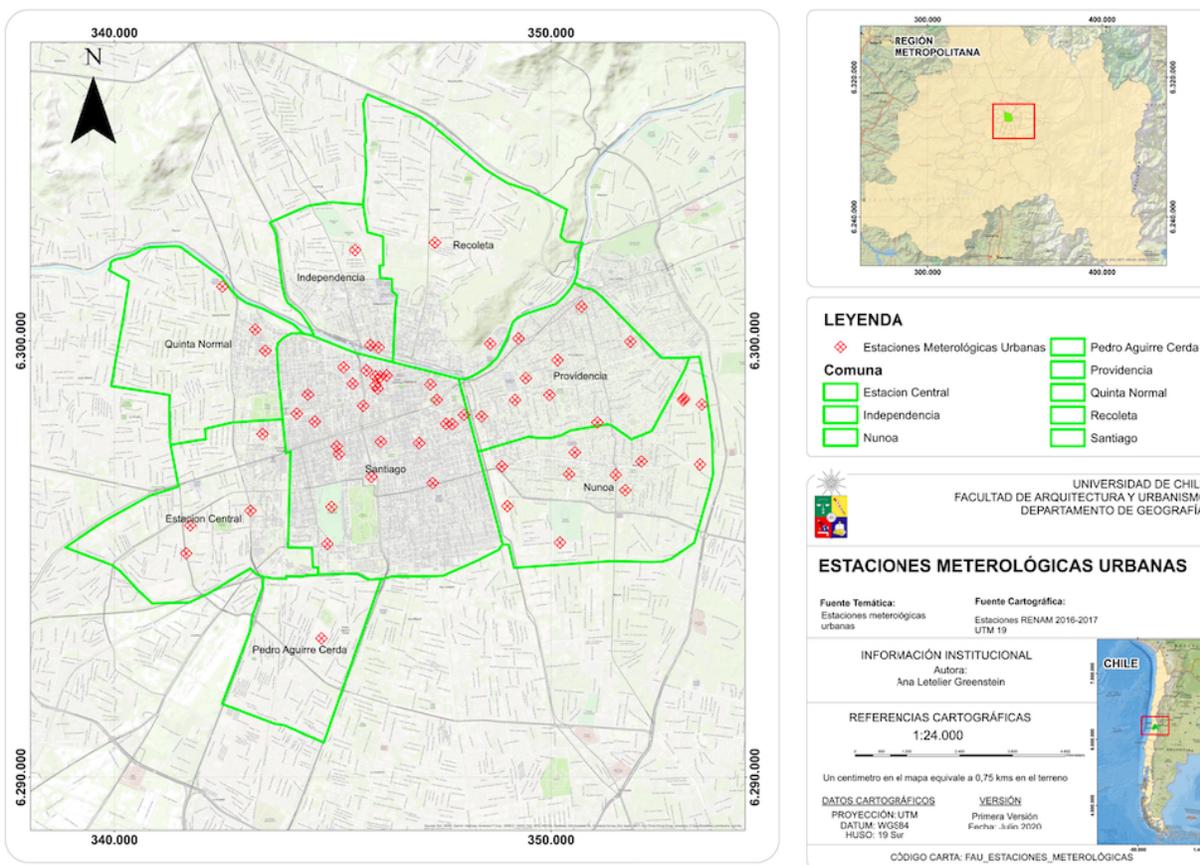
$$\text{Intensidad ICU} = \text{Temperatura urbana} - \text{Temperatura Rural}$$

La obtención de los datos de temperatura diaria desde diferentes puntos de control dentro del área urbana fue de difícil obtención, debido a que existe un déficit de repositorios con información de este tipo en Chile. Esto se presentó como una limitante metodológica de la investigación, debido a que los datos obtenidos presentan algunas anomalías en donde no hay obtención de la temperatura diaria en todos los puntos de control obtenidos dentro del área urbana. Los datos de temperatura urbana se obtuvieron de la base de datos de RENAM en donde se decidió utilizar

estaciones de medición tanto del área de estudio, de la comuna de Santiago, como de las comunas adyacentes: Estación Central, Quinta Normal, Pedro Aguirre Cerda, Ñuñoa, Providencia, Recoleta e Independencia. Las comunas adyacentes de San Miguel y San Joaquín no poseían estaciones meteorológicas.

En la Figura N°2 se muestra la cartografía de las estaciones meteorológicas urbanas. Luego de identificar las estaciones meteorológicas urbanas se calculó la temperatura utilizando la mediana de cada estación meteorológica entre las 00:00 y 23:30 horas por cada temporada del año (primavera, verano, invierno, otoño). Se utilizó la temperatura, calculando la mediana producto de que, de acuerdo con la estadística básica, es la variable más representativa para conjuntos pequeños de datos, debido a que no es por los valores extremos (outliers) como los es el promedio. La obtención de esta información se utilizó en la siguiente etapa para la interpolación de la temperatura del área urbana.

Figura N°3: Estaciones Meteorológicas Urbanas



Fuente: Elaboración propia a partir de RENAM, 2016-2017

Es importante recalcar que las estaciones meteorológicas urbanas provenientes de RENAM, presentes en la cartografía anterior, son todas aquellas que tienen mediciones entre el 1 de enero 2016 y el 31 de diciembre 2017. Un alcance metodológico importante sobre estas estaciones meteorológicas urbanas es que no todas las estaciones hicieron mediciones durante todo el periodo de estudio. Durante la temporada de invierno había 54 estaciones meteorológicas activas, tomando muestras diarias de temperatura, luego en otoño 53 estaciones activas. Desafortunadamente durante las temporadas de primavera y verano la cantidad de estaciones activas disminuye sustancialmente, teniendo así 3 y 12 estaciones activas respectivamente. Esto significa que durante estas temporadas el levantamiento de información de temperatura diaria para el cálculo de la intensidad de la ICU se llevó a cabo de forma esporádica y poco representativa. Esto por ende se presenta como un alcance metodológico importante a la hora de llevar a cabo el cálculo de la intensidad de la ICU durante las temporadas de primavera y verano. En la tabla N°1 es posible apreciar la cantidad de puntos de medición que hay por temporada.

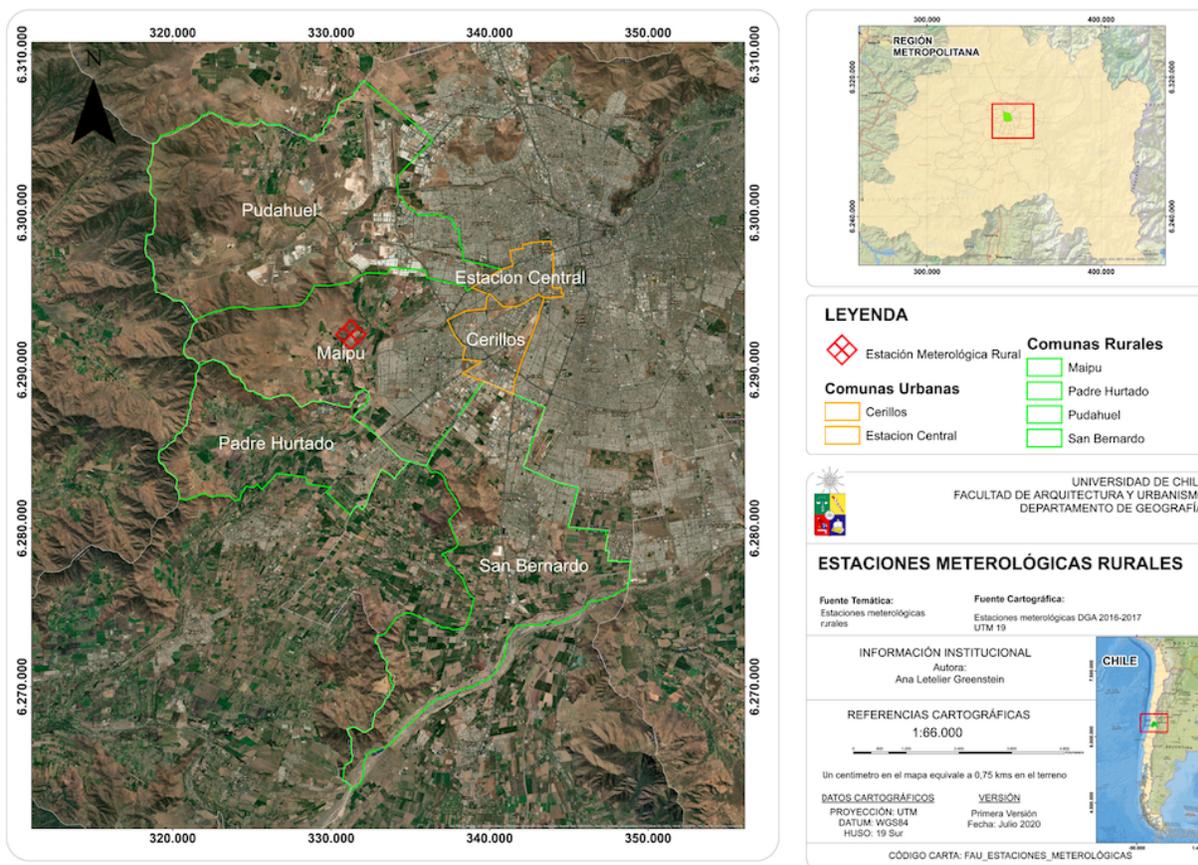
Tabla N°1: Cantidad de puntos de medición de temperatura según temporada del año

Temporada del año	Cantidad de puntos de medición
Invierno	54
Otoño	53
Primavera	3
Verano	12

Fuente: Elaboración propia a partir de RENAM, 2016-2017

Luego se identificó una estación meteorológica rural a partir de la información entregada por la DGA que presenta condiciones físicas similares con las estaciones meteorológicas urbanas. Para este estudio se eligió la estación meteorológica denominada Rinconada Río Mapocho (33°30'27.61''Sur, 70°48'44''Oeste) (Figura N°3) ubicada en la comuna de Maipú, que presenta una altitud similar a las estaciones meteorológicas urbanas. A partir de la información de temperatura diaria de la estación meteorológica de Rinconada Río Mapocho se calculó la mediana por temporada del año que luego fue restada de la temperatura de las estaciones urbanas, para así calcular la intensidad de la ICU en Santiago Centro.

Figura N°4: Estación Meteorológica Rural



Fuente: Elaboración propia a partir de DGA, 2019

B.- Obtención de factores urbanos establecidos según recolección bibliográfica

La revisión bibliográfica indica que los factores urbanos son determinantes sobre el comportamiento de la intensidad de la isla de calor (Tabla N°1). A partir de la recopilación y procesamiento de los factores urbanos estipulados en Tabla N°1 es posible modelar el peso que dichos factores tienen sobre el comportamiento de la intensidad de la isla de calor para Santiago centro en el periodo 2016-2017.

Tabla N°2: Factores urbanos y su origen

Factor Urbano	Procesamiento	Fuente
Superficie de Área Verde	Superficie total en hectáreas de área verde presentes en la comuna de Santiago	Gobierno Regional Metropolitano (2019)
Densidad Poblacional	$\frac{N^{\circ} \text{ de Habitantes}}{\text{ha de área de estudio}}$	N° de habitantes obtenido a partir del censo 2017 y ha a partir del IDE
Altura de la edificación	Expresado según número de pisos	SII (2017)
Calor de las rutas de Transporte Público	Cálculo de la mediana del calor entre las 7 y las 20 horas de lunes a viernes. Esto debido a que es la hora de mayor flujo en el área de estudio.	Datos obtenidos a partir de la memoria de título “ <i>Modelo de la distribución temporal y espacial de la generación de calor por tráfico vehicular en zona urbana de la Región Metropolitana de Santiago</i> ” Rojas (2019)
Calor de las rutas de Livianos (Autos de uso personal)	Cálculo de la mediana del calor entre las 7 y las 20 horas de lunes a viernes. Esto debido a que es la hora de mayor flujo en el área de estudio.	Datos obtenidos a partir de la memoria de título “ <i>Modelo de la distribución temporal y espacial de la generación de calor por tráfico vehicular en zona urbana de la Región Metropolitana de Santiago</i> ” Rojas (2019)

Fuente: Elaboración propia, 2020

C.- Recopilación de casos internacionales y nacionales para la planificación y diseño de los factores urbanos para mitigar y/o aprovechar las consecuencias de la isla de calor presente en el territorio.

Durante el relevamiento de información previa se recolectaron casos de estudio tanto nacionales como internacionales en donde a través de la planificación y diseño de los factores urbanos (densidad poblacional, acción antropogénica, superficie de área verde, altura de las construcciones, etc.) se lograron mitigar y/o aprovechar los efectos de la isla de calor sobre el territorio. Esta información se utilizó para generar una tabla de resultados respecto a los factores urbanos más predominantes en la intensidad de ICU en el área de estudio y diferentes ideas sobre cómo mitigar y/o aprovechar sus efectos para la planificación y diseño territorial. El motor de búsqueda utilizado se centra en los siguientes conceptos: **planificación y diseño urbana sensible al clima Chile, diseño y planificación urbana a partir de factores urbanos, *urban planning for UHI case studies, planning for urban factors case studies***, entre otros. Para identificar estos casos de estudio se utilizó google académico en donde se desarrollaron búsquedas en español e inglés y los tipos de documentos utilizados fueron de tipo artículos académicos, noticias, reportajes, libros, capítulos de libros y documentos institucionales de organización gubernamentales.

3.2.2 Etapa 2: Aplicación de métodos

Esta segunda etapa consiste en la aplicación de métodos e instrumentos para elaboración de información primaria en torno a la intensidad de la isla de calor en Santiago por estación del año. Además, se describe el proceso a partir del cual se realizó la identificación de los factores urbanos que más influencia tienen sobre la intensidad de las ICU, a continuación, se detallan los diferentes métodos aplicados a la información recopilada.

A.- Espacialización de la intensidad de ICU según temporada

Para poder determinar los factores urbanos que influyen en la intensidad de la isla de calor es necesario en primer lugar identificar la intensidad de dicha ICU. Para motivos de esta investigación la intensidad de la ICU se presenta por estación del año (invierno, primavera, verano, otoño). Tal como se mencionó en la etapa 1 para identificar la intensidad de la ICU en un área determinada fue necesario conocer, tanto la temperatura urbana del sector estudiado como la temperatura rural adyacente. En este caso, como se mencionó anteriormente, este es un estudio exploratorio basado en datos de RENAM por lo que se decidió que sería más representativo, calcular la temperatura urbana no solo a partir de la comuna de Santiago sino también de las comunas adyacentes (mencionadas en la etapa 1). Esto debido a que, tal como se mencionó anteriormente, la cantidad de estaciones meteorológicas urbanas no es representativa durante todas las temporadas del año. Es por esta razón que se calculó el valor de la mediana de la temperatura para cada estación

meteorológica urbana según temporada del año, del total de las comunas consideradas urbanas. Luego se llevó a cabo una interpolación con estos datos con el fin de espacializar la mediana de la temperatura según temporada. El geoproceso denominado interpolación se define como la predicción de valores para las celdas de un raster a partir de una cantidad limitada de puntos de una muestra (Esri, s/f). Puede utilizarse para prever valores desconocidos de cualquier dato de un punto geográfico. Sabiendo que es un estudio exploratorio en donde no era posible obtener los datos de temperatura de cada punto dentro del área de estudio, esta herramienta permite predecir cómo se modelará la temperatura diaria por estación del año a través de la predicción. Es importante mencionar que existen varios tipos de interpolaciones utilizados para espacializar la temperatura urbana a partir de información discreta, obtenida de puntos de monitoreo. En este caso se utilizó la interpolación de tipo ***Distancia Inversa Ponderada (IDW)*** que permite mediante la distancia inversa de los puntos determinar los valores de celda. Luego de haber interpolado la mediana de la temperatura de las estaciones urbanas según temporada del año se prosiguió a restar, utilizando la calculadora raster, la interpolación generada por cada temporada del año (urbana) a la mediana de la temperatura según la estación meteorológica rural (por temporada) con el fin de calcular la intensidad de la ICU en invierno, otoño, primavera y verano.

$$\begin{aligned}
 & \text{Intensidad de ICU (temporada)} \\
 & = \text{Interpolación } t^{\circ} \text{ mediana}(\text{estación urbana } x \text{ temporada}) \\
 & \quad - t^{\circ} \text{ mediana}(\text{estación rural } x \text{ temporada})
 \end{aligned}$$

B.- Obtención de los factores urbanos

Los factores urbanos obtenidos fueron procesados con una variedad de herramientas y procesos para tener una adecuada influencia sobre el área de estudio. A continuación, se especifican los métodos empleados. Estas herramientas incluyen distancia euclidiana, análisis de fishnet y análisis espacial usando Múltiples Valores a Puntos de ArcGIS (Esri, s/f).

En primer lugar, al factor urbano de superficie de área verde se le aplicó la herramienta de distancia euclidiana. Esta distancia representa la distancia "ordinaria" entre dos puntos de un espacio euclídeo, la cual se deduce a partir del teorema de Pitágoras (ECURED, s/f). Este espacio euclídeo se puede traducir a la influencia que un punto tiene sobre el espacio. En el caso de la superficie de área verde tiene influencia no solo en el territorio adyacente a dicha superficie sino también existe una relación entre la distancia desde un punto, sea una calle, un edificio, etc. a la superficie de área verde más cercana a dicho punto. La herramienta de distancia euclidiana permite entonces determinar la influencia que tiene la superficie de área verde respecto al resto del área de estudio.

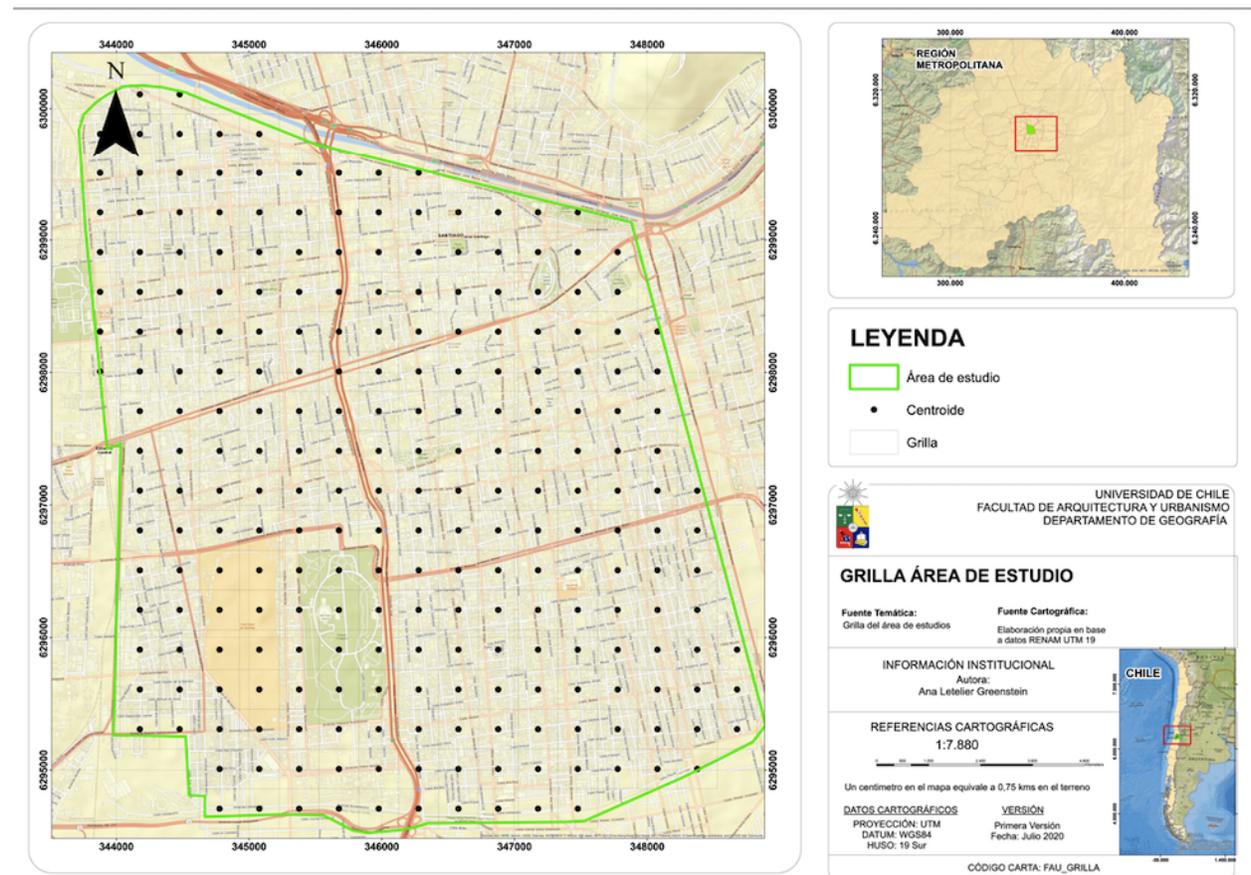
En cuanto al calor de las rutas era necesario al igual que en el caso de la superficie de área verde analizar la influencia que el calor del transporte sea público o privado tiene sobre el territorio. Es

por esta razón que se transformó la información vectorial de polilíneas a puntos para luego aplicar la herramienta de interpolación de tipo *Natural Neighbor*.

La herramienta de fishnet (grilla) se emplea para crear celdas y puntos sobre un área determinada que tienen una distancia determinada entre los puntos. En el caso de la investigación se creó una grilla que posee 200 metros entre un punto a otro (representación en el territorio real). En la Figura N°5 es posible apreciar la grilla creada.

Una vez creada la grilla fue posible extraer la información de los diferentes factores urbanos a partir de su relación con los puntos creados anteriormente en el fishnet. Para extraer esta información se utilizó la herramienta de *Extract Multiple Values to Points* de ArcGIS. En este paso a cada punto creado se le asocian valores de los diferentes factores urbanos, pero también los valores determinados de la intensidad de la ICU por temporada del año.

Figura N°5: Grilla Área de estudio



Fuente: Elaboración propia, 2020

En la Figura N°5 se aprecia un collage de todos los geoprocursos aplicados durante la obtención de los factores urbanos para la investigación.

C.- Determinación de la influencia de los factores urbanos sobre la intensidad de la ICU

Para determinar la influencia de los factores urbanos sobre la intensidad de la ICU, según cada estación del año, fue necesario extraer la información para cada punto de la grilla construida usando el Software de Spss.

En primer lugar, se aplicó la prueba de normalidad de datos para determinar la distribución de cada uno de los factores. Las pruebas de normalidad se utilizan para determinar si un conjunto de datos se distribuye de forma normal, es decir, si su distribución es de tipo campana. Según la literatura, si un conjunto de datos presenta más de 50 datos se debe aplicar una prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para determinar la distribución de los factores. Si la significación asintótica (P) es menor a 0.5 significa que se acepta la hipótesis alterna por lo que los datos tienen una distribución anormal. Datos con una sig. asintótica (P) mayor a 0,5 significa que se acepta la hipótesis nula y los datos tienen una distribución normal.

Para poder llevar a cabo una regresión lineal usando datos provenientes de diferentes fuentes es necesario identificar si los datos presentan una distribución normal. En este caso se le aplicó una prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov a los factores urbanos (densidad poblacional, superficie de área verde, altura de las construcciones y calor generado por el transporte público y privado) debido a que presentan más de 50 datos cada uno. De esta forma se normaliza la información con la cual se construiría la regresión lineal.

Luego de eso se utiliza la herramienta de correlación (R) para determinar la relación entre los datos. Cuando la relación es positiva entonces existe una relación directa entre los datos y cuando la relación es negativa significa que existe una relación indirecta o inversa entre los datos. Para identificar la relación entre los factores y la intensidad de la ICU se emplea la siguiente interpretación de R:

- Si $R = 0$ No existe una correlación entre las variables
- Si $0.00 \leq R \leq \pm 0.20$ Existe una correlación no significativa entre variables
- Si $\pm 0.20 \leq R \leq \pm 0.40$ Existe una correlación baja
- Si $\pm 0.40 \leq R \leq 0.70$ Existe una correlación significativa
- Si $\pm 0.70 \leq R \leq 1.00$ Existe un alto grado de correlación
- Si $R = 1$ Existe una correlación perfecta positiva
- Si $R = -1$ Existe una correlación perfecta negativa

(Zapata, 2014)

A partir de la información obtenida anteriormente y empleando en el software de Spss un nivel de confianza de un 95% se establece el modelo de Regresión lineal de la intensidad de la isla de calor según temporada del año a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Intensidad de ICU} = \text{Cte} \pm (\beta * \text{Altura de las edificaciones}) \pm (\beta * \text{Densidad Pob}) \pm (\beta * \text{Superficie de área verde}) \pm (\beta * \text{Calor de ruta Tp}) \pm (\beta * \text{Calor de ruta P})$$

Es necesario definir qué calor de ruta Tp es el calor de las rutas liberado por el transporte público y calor de ruta P es el calor de las rutas liberado por el transporte personal. Además a medida que se generan las ecuaciones según temporada es necesario identificar que los signos positivos (+) indican una relación directa, a medida que el factor aumenta la intensidad de la ICU también. Mientras que los signos negativos (-) demuestran una relación inversa: a medida que el valor del factor disminuye la intensidad de la ICU aumenta. Aplicando los métodos y herramientas anteriormente establecidos es posible determinar los resultados finales de la investigación.

3.2.3 Etapa 3 Análisis y Resultados:

Esta etapa consiste principalmente en la integración de los resultados obtenidos. Los datos obtenidos permiten integrar un modelo que relaciona la intensidad de la ICU con diversos parámetros geográficos y urbanos. De esta manera se construye un pequeño modelo que permite anticipar la intensidad de las ICU cuando se planifique la ciudad en el futuro.

A.- Intensidad de la Isla de Calor Urbana según la temporada del año en la comuna de Santiago

A partir de los datos recolectados y analizados es posible calcular en esta etapa la intensidad de la ICU por temporada a partir de la temperatura diaria. Para calcular la intensidad de la ICU se utilizó la herramienta Raster Calculator de ArcGIS en donde se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{Intensidad de la ICU}(T^{\circ}C) = \text{Temperatura Urbana}(T^{\circ}C) - \text{Temperatura Rural}(T^{\circ}C)$$

La *Temperatura Urbana* se calculó utilizando el método de interpolación IDW con los datos de la mediana de la temperatura diaria de las estaciones urbanas del área de estudio y sus comunas colindantes según la temporada del año (verano, invierno, primavera, otoño). La *Temperatura Rural* se calculó a través de la mediana de la temperatura diaria de la estación meteorológica escogida (Figura N°4) según temporada del año.

La resta de ambas temperaturas (urbana y rural) da como resultado la intensidad de la ICU según temporada del año en el área de estudio. Para la representación gráfica de dicho resultado la

intensidad se representa en rangos de temperatura (alto, medio y bajo) a partir de los datos cuantificados en el reclass de ArcGIS. Además se hizo una recopilación de imágenes satelitales utilizando el programa Google Earth con el objetivo de apreciar intersecciones de calles dentro del área de estudio en donde la presencia de la intensidad de ICU es alta o inexistente.

B.- Modelo de regresión lineal de la Intensidad de la Isla de Calor Urbana a partir de los factores urbanos

Luego de haber calculado la intensidad de la ICU por temporada del año y haber determinado la influencia de los factores urbanos sobre dicha intensidad, utilizando las regresiones lineales (spss) planteadas. Se procede a espacializar dicha información con el fin de identificar si cambia el comportamiento de la intensidad ICU, además de identificar zonas de la comuna en donde hay altos focos de intensidad.

Para llevar esto a cabo se utilizaron las herramientas de ArcGIS denominada *Raster Calculator* en donde se ingresan las regresiones lineales generada en SPSS. Utilizando además los rasters de los factores urbanos geoprocesados anteriormente. Esto da como resultado final la espacialización de las regresiones lineales para un adecuado análisis.

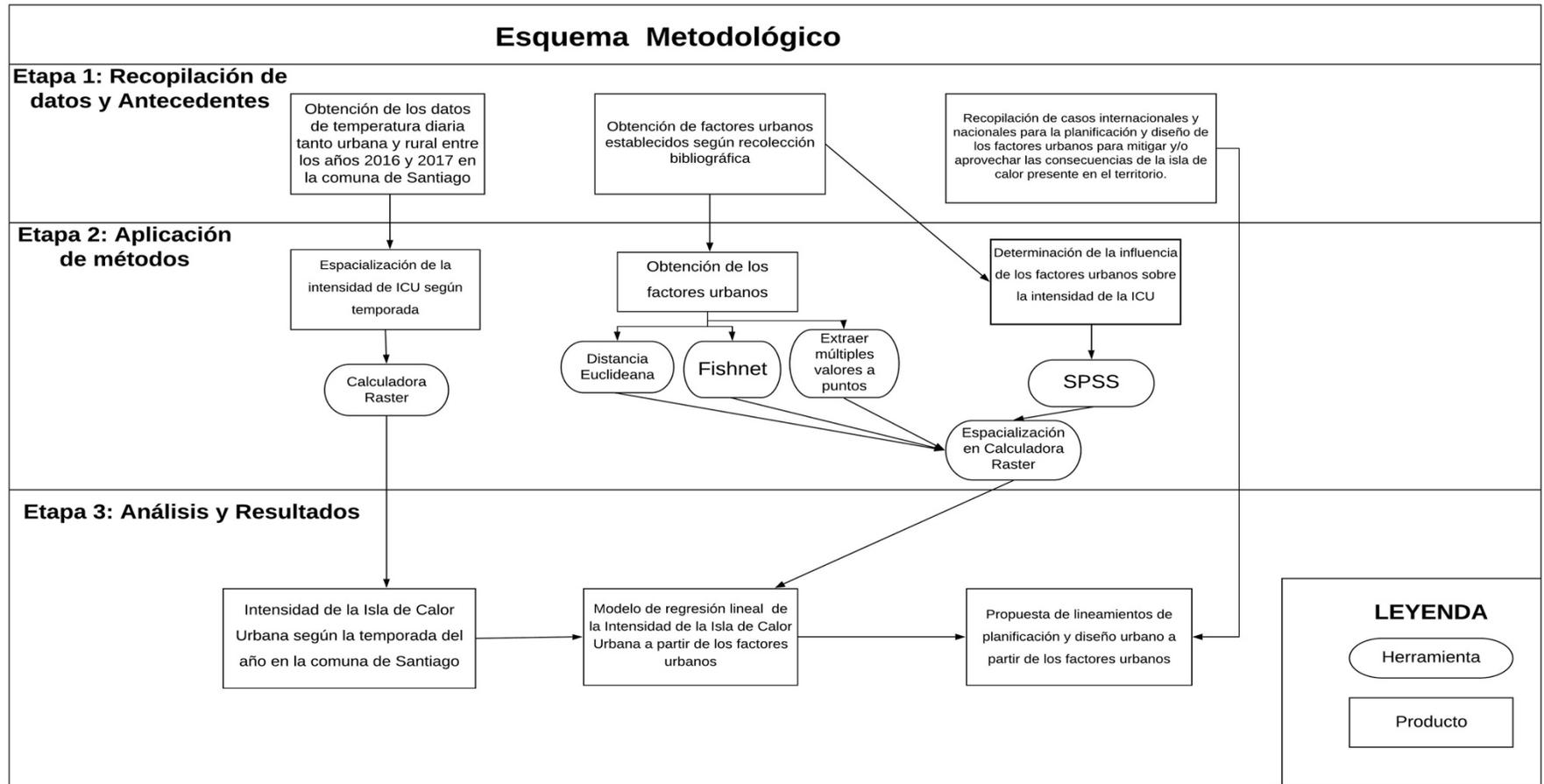
Además se hizo una recopilación de imágenes satelitales utilizando el programa Google Earth con el objetivo de apreciar intersecciones de calles dentro del área de estudio en donde la presencia de la intensidad de ICU es alta o inexistente.

C.- Propuesta de lineamientos de planificación y diseño urbano a partir de los factores urbanos

La última fase de la metodología se centra en analizar casos de estudio de planificación y diseño urbano tanto nacionales e internacionales, centrados en la mitigación y/o aprovechamiento de la ICU utilizando los factores urbanos previamente identificados. A partir de este análisis se genera una tabla de resumen donde hay una serie de ejemplos sobre cómo planificar y diseñar el área de estudio con el fin de aprovechar y/o mitigar la ICU a partir de los factores urbanos. Además utilizando Google Earth se escogen una serie de sectores dentro de la comuna en donde sería posible replicar dichos lineamientos.

3.2.4 Esquema Metodológico

Figura N° 6: Esquema Metodológico



Fuente: Elaboración propia, 2020

Capítulo N°4: Resultados

Los resultados obtenidos y procesados en la presente investigación serán presentados a través de un análisis descriptivo y ordenados a partir del cumplimiento de cada objetivo específico propuesto.

4.1 Cálculo de la intensidad de la isla de calor urbana en la comuna de Santiago entre los años 2016 y 2017

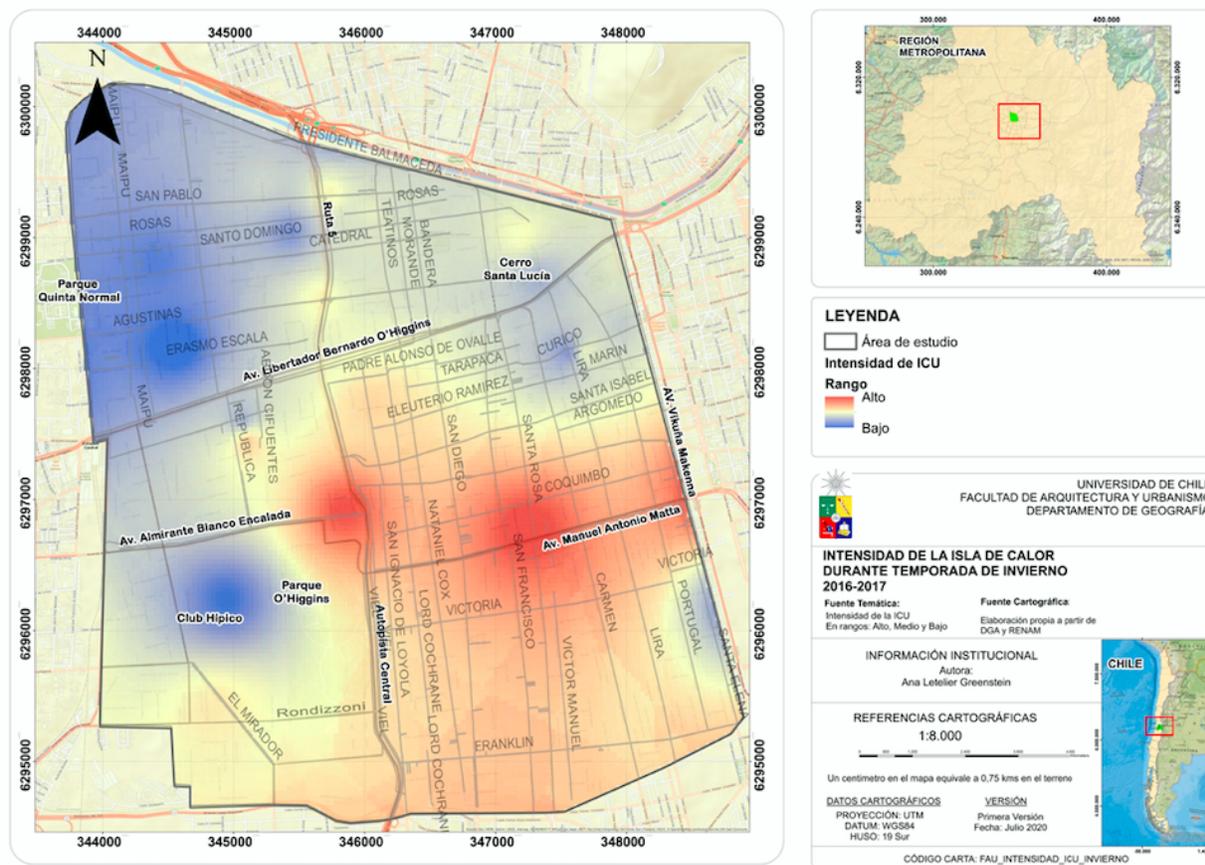
A continuación, se presenta un análisis descriptivo del comportamiento de la ICU de cada estación del año en la comuna de Santiago entre los años 2016 y 2017.

4.1.1 Temporada de Invierno

En la Figura N° 7 es posible notar que existen zonas en la comuna de Santiago en donde durante el invierno se concentra la intensidad de la isla de calor en focos de intensidad altos y bajos. Durante la temporada de invierno la intensidad de la ICU oscila entre 3,8 °C (alto) a -0,3°C (bajo). Existen dos focos de isla de calor. La primera se aprecia a lo largo de la Avenida Manuel Antonio Matta (Figura N°8A), en especial entre las calles perpendiculares de San Diego y Carmen. Esto se puede deber a que este sector tiene una predominancia tanto de comercios muy concurridos, pero también una gran área residencial. Esta área residencial en los últimos años se ha visto sometida a un proceso de renovación urbana en donde las construcciones de pequeña altura (Anexo N°1), tal como hogares de un piso, han sido reemplazadas por grandes edificios en donde habitan más de 100 personas por edificio. Estas nuevas construcciones pueden ser un factor contribuyente a la alta intensidad de ICU en este sector. Por otro lado, el otro foco de concentración se presenta en la zona en donde se intercepta la Autopista Central con la Avenida Almirante Blanco Encalada (Figura N°8B). Esto se puede deber a la gran concentración de vehículos, tanto particulares como públicos, que tienden a concentrarse en esta zona producto de que es un sector en donde existe una entrada y salida a la autopista, además de otras vías adyacentes.

En cuanto a zonas de baja intensidad de ICU en el invierno, existe un foco importante en la zona del Club Hípico (Figura N°8C), esto probablemente se deba a la alta presencia de áreas verdes del sector (Anexo N°2). Otra zona de baja intensidad de ICU durante esta época es la zona entre las calles paralelas de Agustinas, Erasmo Escala, General Bulnes y Esperanza (Figura N°8D). Esto se puede deber a que es una zona con una baja densidad poblacional además de presentar en su mayoría construcciones que no superan los 5 pisos de altura (Anexo N°1).

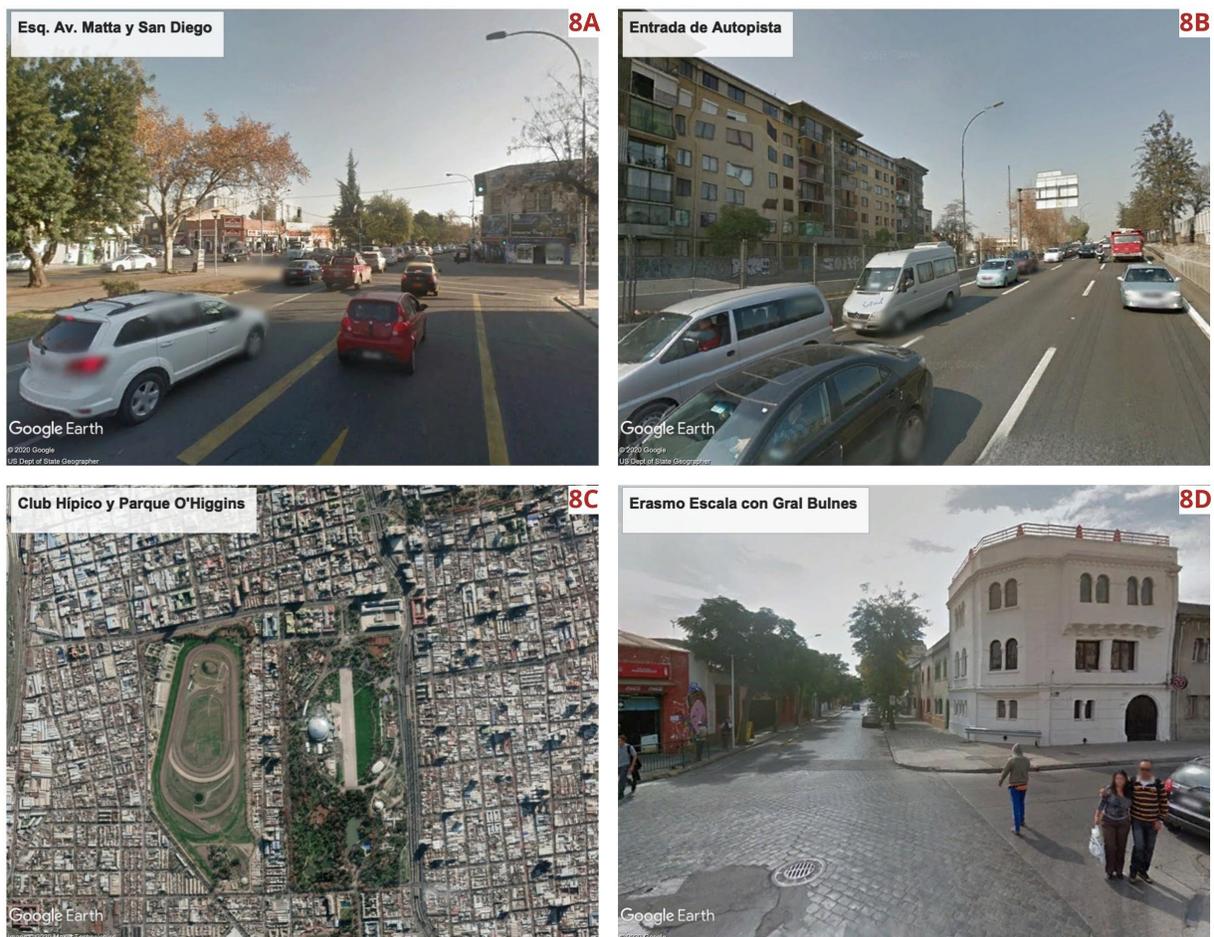
Figura N°7: Intensidad de ICU temporada de Invierno



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de RENAM y DGA, 2020

En la Figura N°8 se pueden distinguir intersecciones de calles dentro del área de estudio, nombrados anteriormente, que se identificaron dentro de cuadrantes de alta o baja intensidad de ICU.

Figura N°8: Focos de intensidad de ICU durante la temporada de Invierno



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth, 2020

4.1.2 Temporada de Otoño

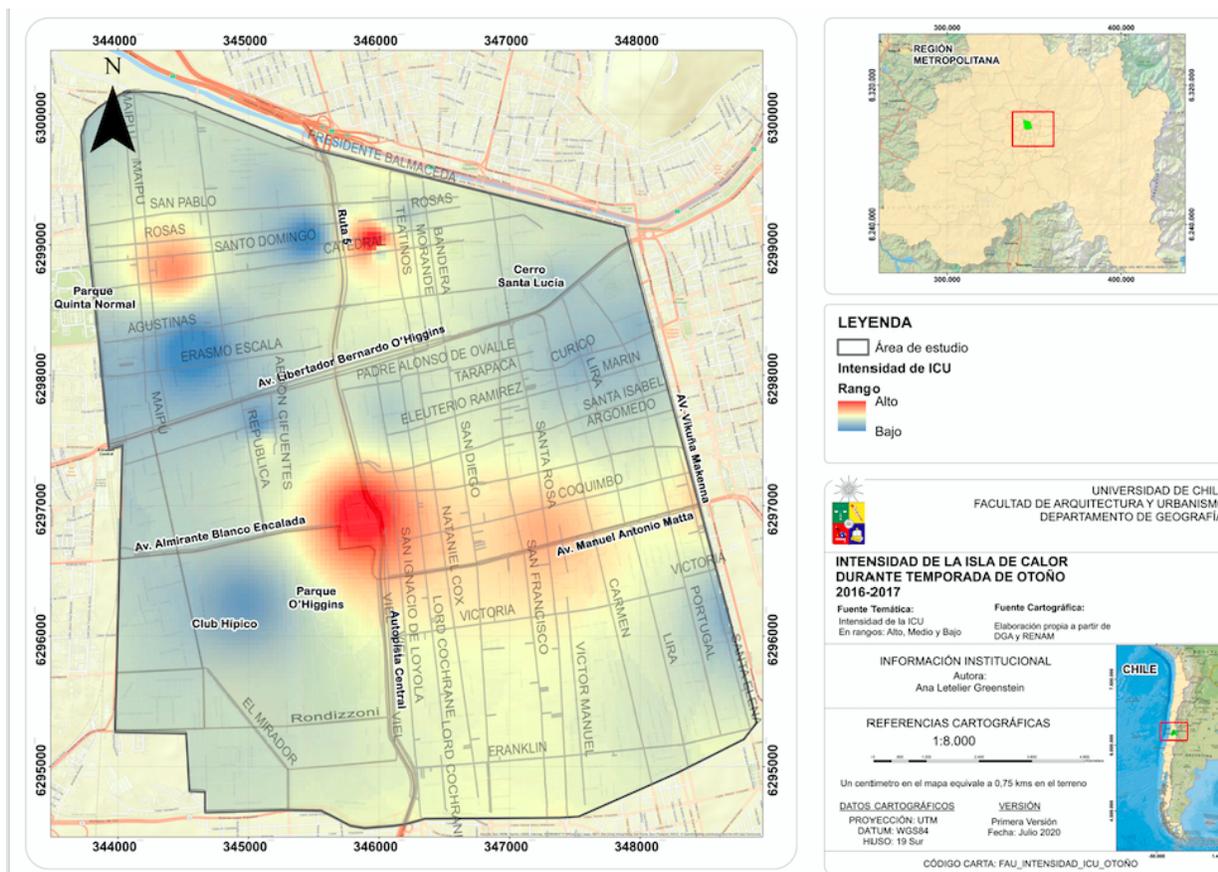
En cuanto a la intensidad de la isla de calor durante la época de otoño (Figura N°9) es posible distinguir tres grandes focos de alta intensidad, que presentan una temperatura de 5,8 °C. El primero, y más dominante, se encuentra, al igual que durante la época de invierno, en la intersección de la Autopista Central con la Avenida Almirante Blanco Encalada (Figura N°10A). Esto nuevamente se puede deber a la alta afluencia de vehículos que se concentran en esta zona producto de ser un punto de entrada y salida de la autopista además de poseer varias pistas urbanas a su alrededor. Otro foco de intensidad alta de ICU pero de menor tamaño se encuentra en las calles perpendiculares de Santo Domingo y Libertad, en donde se encuentra la Plaza Yungay (Figura N°10C). Un tercer foco se encuentra entre las calles Amunategui y Santo Domingo (Figura N°10B). Esta alta intensidad se puede deber a que es un área con una alta población residencial (Anexo N°3) además de presentar edificaciones por sobre los 18 pisos. Estos factores pueden eventualmente influir en la acumulación de calor y aumentar la intensidad de la isla de calor en

este sector.

A diferencia del comportamiento de la intensidad de la ICU durante el invierno, durante el otoño se presentan más focos de baja intensidad con una temperatura de $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. El primer foco de baja intensidad se encuentra en la zona del Club Hípico y sus calles aledañas, probablemente producto nuevamente de la alta densidad de áreas verdes y baja densidad residencial de la zona (Anexo N°2 y N°3). El segundo foco, igual que en el invierno, está entre las calles paralelas de Agustinas y Erasmo Escala (Figura N°10F). Esto producto de ser una zona con una baja densidad poblacional, además de presentar en su mayoría construcciones que no superan los 5 pisos de altura (Anexo N°1).

Además, aparecen en otoño dos focos de baja intensidad nuevos. El primero se encuentra entre las calles paralelas de Rosas y Catedral (Figura N°10D), adyacente a la Autopista Central pero en frente del foco de alta intensidad mencionado anteriormente. Esta zona presenta una baja densidad poblacional y edificaciones de baja altura (Anexo N°3). Otro foco pequeño de baja intensidad se encuentra entre la Avenida Libertador Bernardo O'Higgins y la calle Salvador Sanfuentes (Figura N°10E), entre las calles de Avenida República y Abdón Cifuentes. Esta zona del área de estudio presenta una densidad poblacional cercana a 0 y una altura de edificaciones no mayor a 5 pisos. Esto puede ser una razón por la cual se presenta un foco de baja intensidad de ICU durante el otoño. El resto del área de estudio presenta una intensidad de ICU media presentando pequeños destellos de baja intensidad casi imperceptibles hacia la zona limítrofe con las comunas adyacentes de Providencia y Ñuñoa.

Figura N°9: Intensidad de ICU temporada de Otoño



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de RENAM y DGA, 2020

En la figura N°10 se pueden distinguir intersecciones de calles dentro del área de estudio, nombrados anteriormente, que se identificaron dentro de cuadrantes de alta o baja intensidad de ICU.

Figura N°10: Focos de intensidad de ICU durante la temporada de Otoño

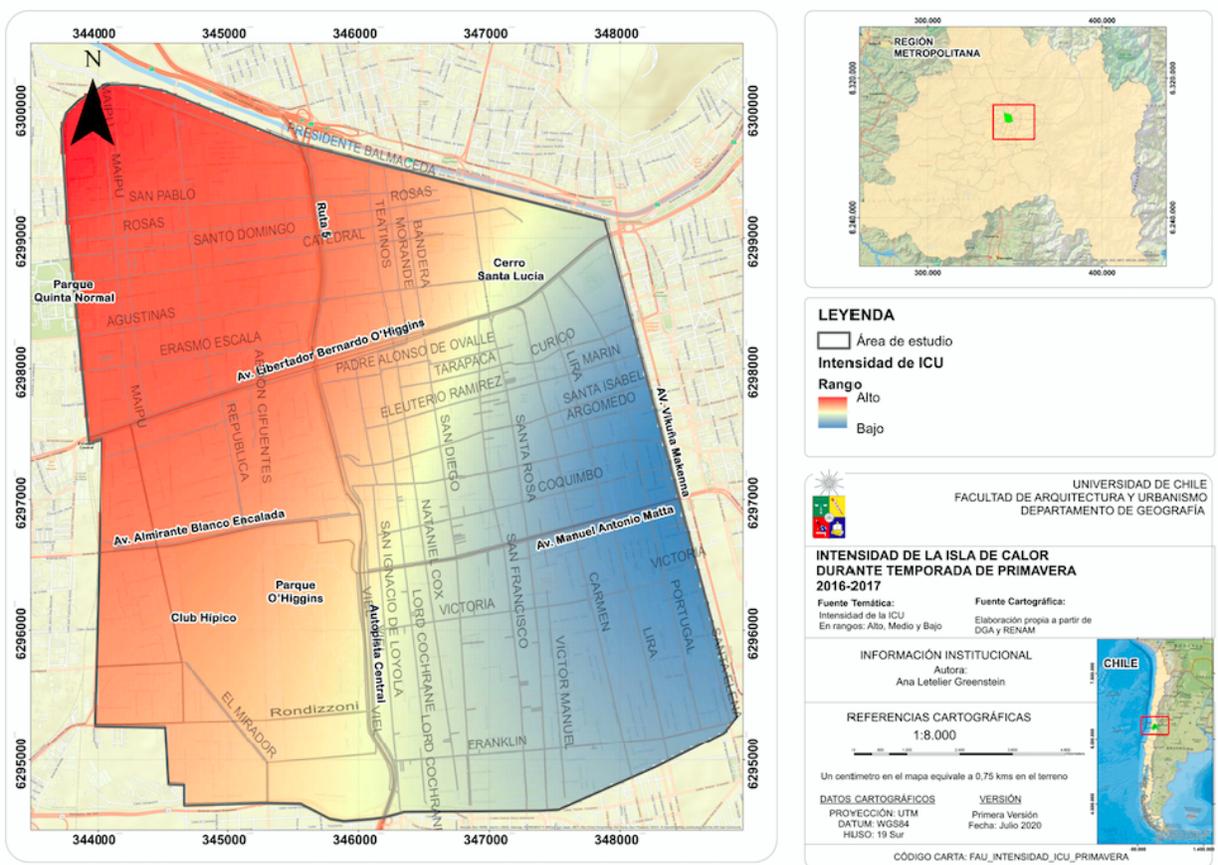


Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth, 2020

4.1.3 Temporada de Primavera

En la Figura N°11 es posible apreciar la intensidad de la isla de calor urbana durante la época de primavera. Al generar este estudio usando datos de RENAM se presentaron algunos alcances metodológicos explicados durante el capítulo anterior. De igual forma, para el estudio se llevó a cabo el cálculo de la intensidad de la ICU durante la primavera. El resultado es un gradiente de baja (4°C) a alta (5,7°C) intensidad desde el límite noreste de la comuna como el punto de más alta intensidad del fenómeno al punto suroeste limítrofe de la comuna donde se encuentra el punto de menor intensidad de la ICU durante la época de primavera.

Figura N°11: Intensidad de ICU temporada de Primavera



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de RENAM y DGA, 2020

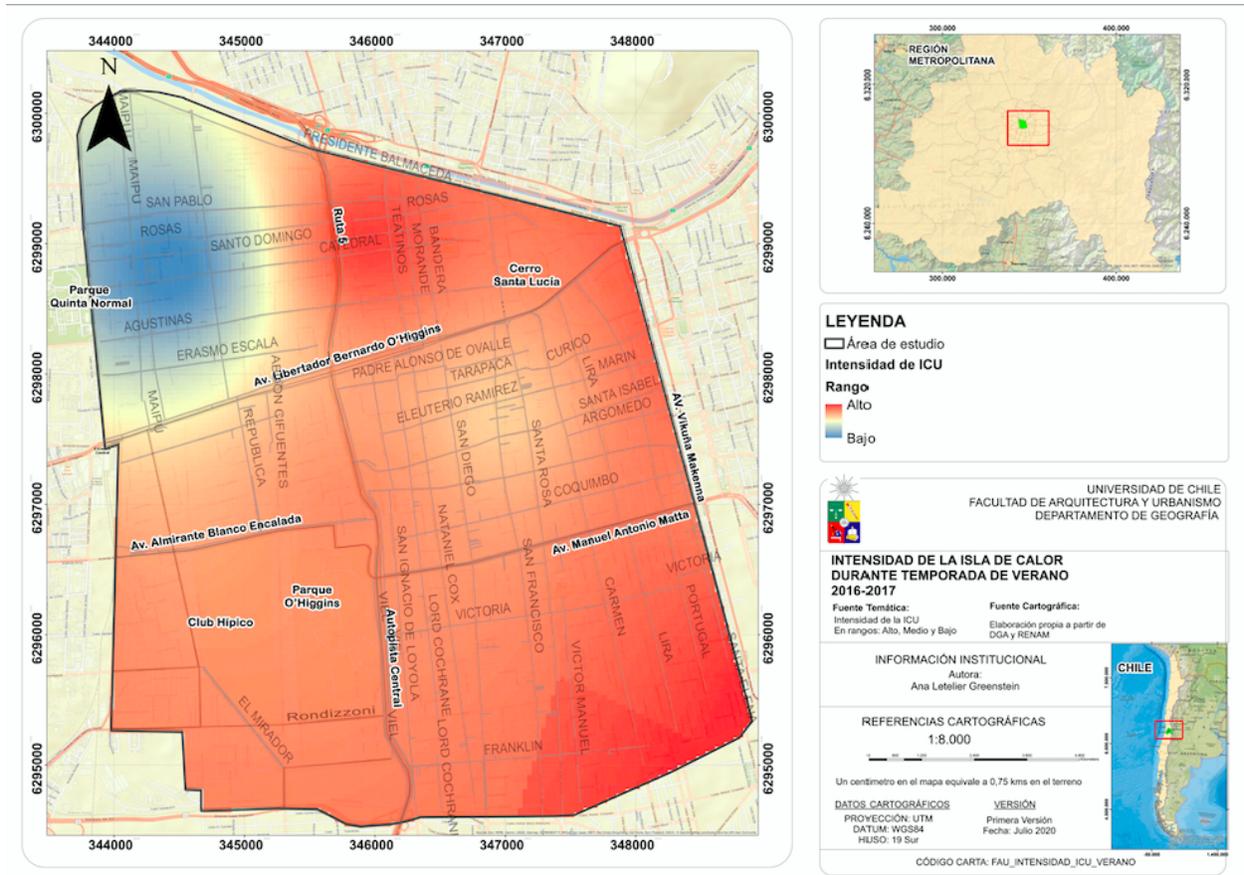
4.1.4 Temporada de Verano

En cuanto a la intensidad de la isla de calor durante la época de verano (Figura N°12), es importante recalcar que la situación durante esta época presenta un problema similar a la temporada de primavera, ya que RENAM llevó a cabo un número reducido de mediciones. Aun así, es posible distinguir focos de alta y baja intensidad dentro de la comuna a diferencia de lo sucedido durante la época de primavera, donde no se observa ningún foco de intensidad.

En el caso de la alta intensidad de ICU durante el verano, tiene una temperatura de 4,5°C. Esta se encuentra entre la Avenida San Pablo, calle General Bulnes, calle Catedral y calle Maipú (Figura N°13A), que se va disipando hacia la calle Esperanza donde comienza la entrada de la Costanera Sur hacia el Poniente (Figura N°13B y Figura N°13D). El resto de la comuna presenta una baja intensidad (Figura N°13C), con una temperatura de 4°C, excepto un pequeño foco de una intensidad media (1,8°C) ubicado en el cuadrante noreste de la comuna entre las calles de San Francisco, Tarapacá, Avenida Santa Rosa y Santa Isabel (Figura N°13E).

Lo interesante del fenómeno en el verano es que se comporta de manera opuesta que durante el invierno. Tal como se apreció en la Figura N° 7, el cuadrante noreste de la comuna presenta una baja intensidad de la isla de calor, pero durante el verano sucede el fenómeno inverso presentándose como la zona con más alta intensidad de la ICU.

Figura N°12: Intensidad de ICU temporada de Verano



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de RENAM y DGA, 2020

En la figura N°13 se pueden distinguir intersecciones de calles dentro del área de estudio, nombrados anteriormente, que se identificaron dentro de cuadrantes de alta o baja intensidad de ICU.

Figura N°13: Focos de intensidad de ICU durante la temporada de Verano



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth, 2020

Conociendo cómo fluctúa la intensidad de la isla de calor según temporada del año. Es posible identificar cuáles son los factores urbanos que explican la intensidad de la ICU y evaluar la relación entre la intensidad de la ICU y dichos factores.

4.2 Identificación y evaluación de los factores urbanos que explican la intensidad del fenómeno de isla de calor urbana en la comuna de Santiago entre el año 2016 al 2017.

Luego de haber descrito el perfil de intensidad de la ICU en las diferentes estaciones del año (2016-2017) a partir de la información recolectada de la temperatura diaria, se construyó una ecuación de regresión lineal múltiple para cada temporada del año, que modela la intensidad de la isla de calor a partir de cuatro factores urbanos (calor del transporte, altura de las edificaciones, densidad población y superficie de áreas verdes). A continuación, se analizarán las regresiones lineales describiendo la influencia de cada factor urbano sobre la intensidad de la ICU, para luego evaluar la relación entre la intensidad de la ICU y los factores urbanos.

4.2.1. Temporada Invierno

Durante el invierno se observa que la altura de las edificaciones, la densidad de la población, y el calor emitido por el transporte personal influyen de forma directa sobre la intensidad de la isla de calor de la comuna de Santiago. Mientras que la superficie de áreas verdes y el calor del transporte público inciden de forma indirecta sobre la intensidad de la ICU en invierno, esto se puede apreciar debido a los valores negativos de los coeficientes en la ecuación mencionada. Según el β , la densidad poblacional (4.37) es la que mayor influencia directa tiene sobre la intensidad de la ICU

en invierno. Esto significa que a medida que aumenta la densidad de la población en una zona dada mayor será la intensidad de la ICU. A diferencia de la superficie de área verdes en donde a medida que aumenta en superficie, menor será la intensidad de la ICU.

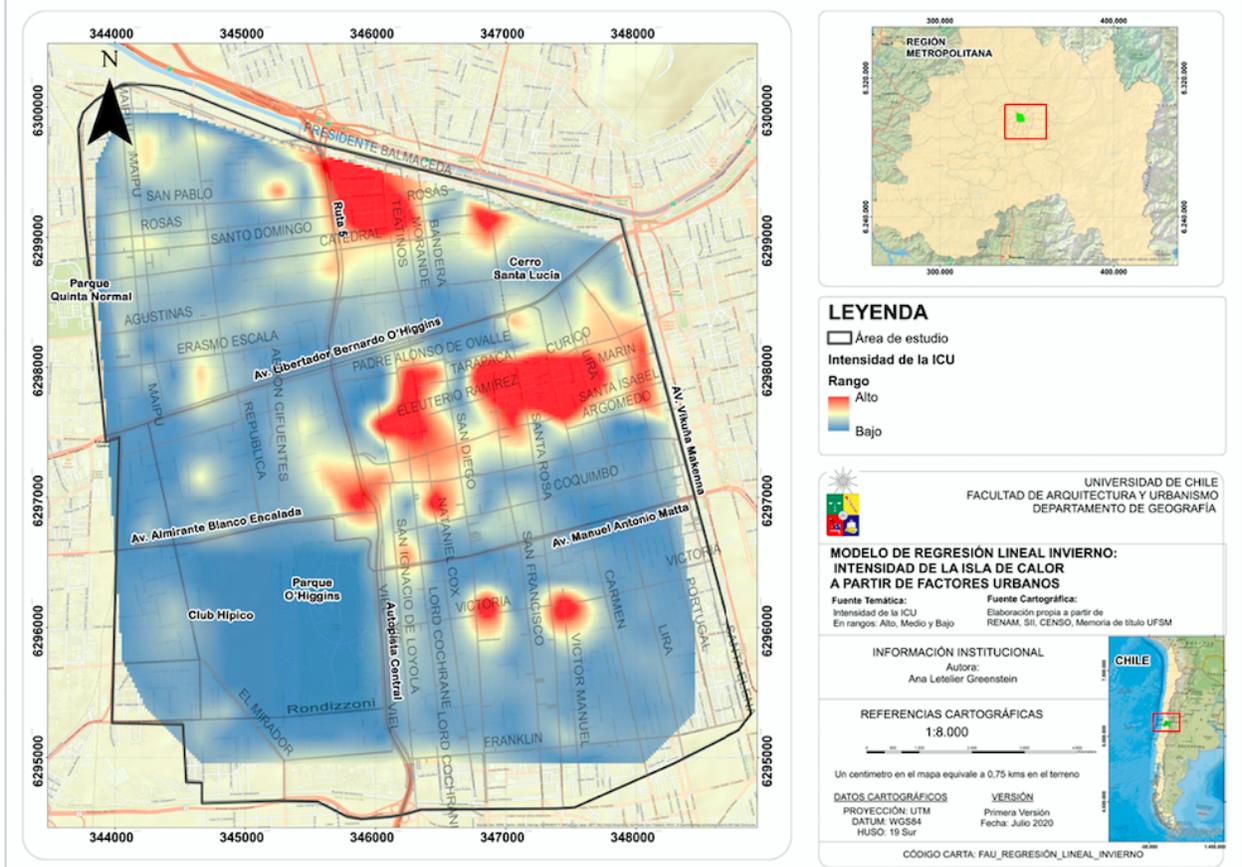
$$\text{Intensidad de ICU Invierno} = 1.535 + (0.04 * \text{Altura edificaciones}) + (4.37 * \text{Densidad Pob}) - (0.01 * \text{Sup área verde}) - (0.06 * \text{Calor ruta Tp}) + (0.03 * \text{Calor de ruta P})$$

R: 0,299

El coeficiente de correlación múltiple (R) según la interpretación dada anteriormente en la etapa metodológica indica que existe una correlación baja. Esto significa que las variables independientes seleccionadas e incluidas en la ecuación tienen baja influencia sobre la intensidad de la ICU en invierno. Por lo que en este caso los factores urbanos explicativos no tienen una alta influencia sobre cómo actúa la intensidad de la ICU.

Al espacializar la ecuación de la regresión lineal de la intensidad de la ICU en invierno se aprecia la siguiente cartografía (Figura N°14). A diferencia del fenómeno de la intensidad de ICU en el invierno a partir de los datos recolectados por RENAM de temperatura diaria (Figura N°6), la distribución espacial de la intensidad en este caso da cuenta de una presencia de mayor cantidad de focos de alta intensidad con una temperatura de 3,8 °C. Estos focos se encuentran principalmente en la zona Noroeste de la comuna, en especial entre el cuadrante de Av. Vicuña Mackenna, Av. Manuel Antonio Matta, Autopista Central y Av. Libertador Bernardo O'Higgins (Figura N°15C y N°15D). Este foco se encuentra inmerso dentro una gran área de la comuna, que según el modelo creado presenta una baja intensidad en cuanto a la isla de calor durante el invierno. En la zona limítrofe Norte de la comuna en el cuadrante de Autopista Central, Catedral, Morande y Av. Presidente Balmaceda es donde se encuentra el segundo gran foco de alta intensidad (3,8°C) del fenómeno estudiado (Figura N°15A y N°15B). A diferencia del modelo anteriormente presentado en el resultado N°4.1, el fenómeno modelado a partir de los factores urbanos presenta mayores focos de alta intensidad. El resto de la comuna no presenta ICU con una temperatura aproximada de -0,3°C.

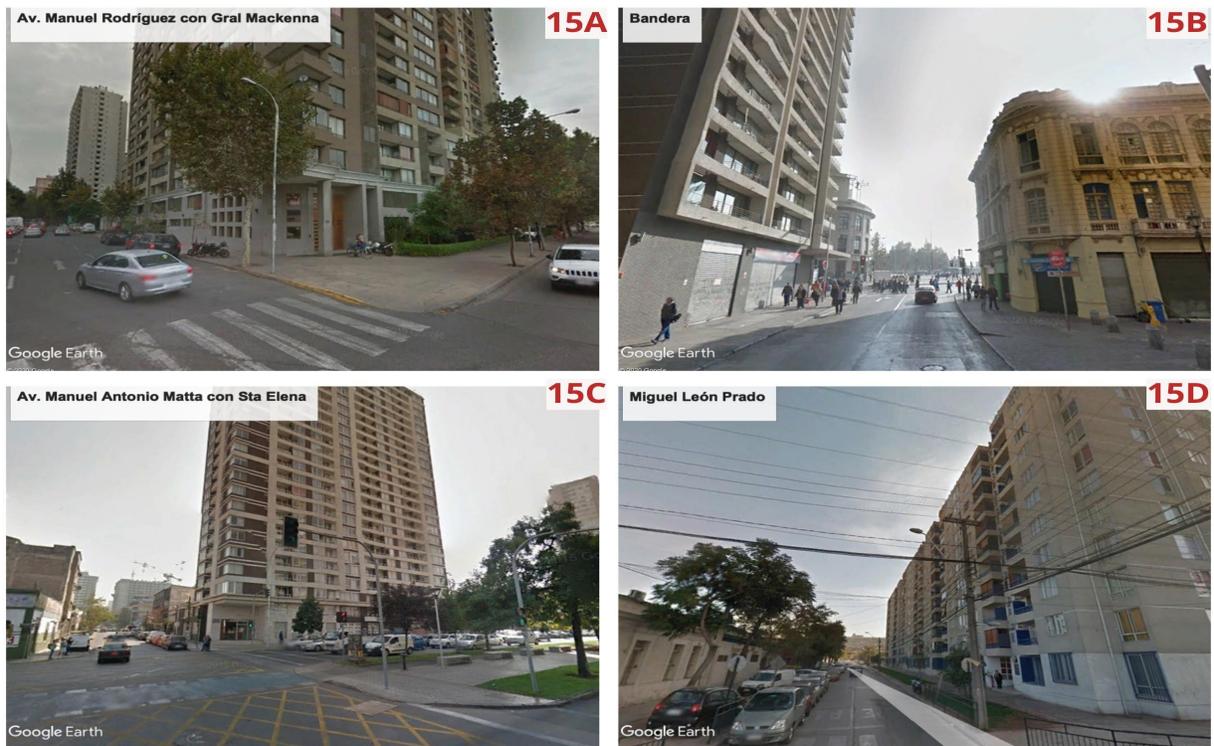
Figura N°14: Modelo de Regresión Lineal; Intensidad de la ICU temporada de Invierno



Fuente: Elaboración propia a partir de factores urbanos procesados en SPSS, 2020

En la figura N°15 se pueden distinguir intersecciones de calles dentro del área de estudio, nombrados anteriormente, que se identificaron dentro de cuadrantes de alta o baja intensidad de ICU.

Figura N°15: Focos de intensidad de ICU según Regresión Lineal, Invierno



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth, 2020

4.2.2 Temporada de Otoño

El modelo de regresión lineal de la intensidad de la ICU en otoño a partir de los factores urbanos mencionados anteriormente es el siguiente:

$$\begin{aligned}
 \text{Intensidad ICU OTOÑO} &= 0.156 + (0.08 * \text{Altura de edificaciones}) + (4.29 * \text{Densidad Pob}) \\
 &- (0.01 * \text{Sup área verde}) - (0.08 * \text{Calor Ruta Tp}) - (0.01 * \text{Calor Ruta P})
 \end{aligned}$$

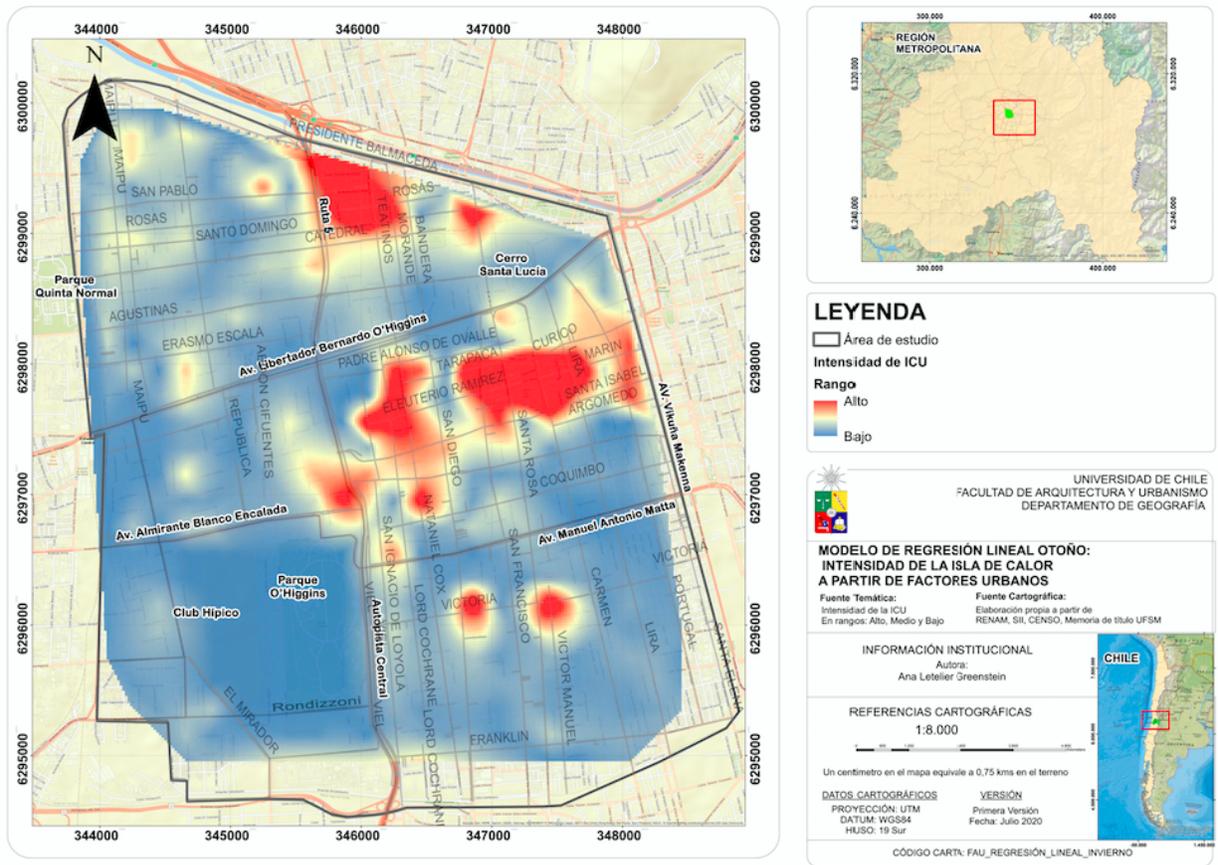
R: 0,107

El desglose por factor urbano de la regresión lineal indica, igual que en la temporada de invierno, que la altura de las edificaciones y la densidad poblacional tienen un efecto directo sobre la intensidad de la ICU en otoño. La superficie de área verde, el calor del transporte público y el calor del transporte personal tienen una incidencia inversa sobre la intensidad de la ICU en otoño. Llama la atención el efecto inverso que el transporte tiene sobre el comportamiento de la temperatura, lo que podría explicarse por su interacción con los otros factores considerados o bien, por la escala de los datos que fueron levantados en el marco de otro estudio. Esto significa que a medida que aumenta la congestión de vehículos disminuye la intensidad de la ICU. Al igual que en el caso de invierno la densidad poblacional es el factor urbano que mayor β posee y por ende el que mayor

peso tiene sobre la intensidad de la ICU. El coeficiente de correlación múltiple (R) da cuenta de una correlación no significativa. Esto significa que las variables independientes, en este caso la altura de las construcciones, la densidad poblacional, la superficie de área verde en la comuna, el calor emitido por el transporte tanto público como privado tienen una influencia baja sobre la intensidad de la ICU en otoño.

Al espacializar la ecuación de la regresión lineal de la intensidad de la ICU en otoño se aprecia la siguiente cartografía (Figura N°16). A diferencia del caso anterior, respecto a la temporada de invierno, los focos de alta intensidad disminuyen en tamaño, presentan una temperatura de 5,8°C. El primer foco de mayor intensidad y tamaño se ubica en la zona limítrofe Norte de la comuna en el cuadrante de Autopista Central, Catedral, Morande y Av. Presidente Balmaceda (Figura N°17A y N°17B). Lo interesante de este foco es que es el segundo mayor foco de alta intensidad durante la temporada de invierno, pero en otoño es el foco principal en donde existe una alta intensidad de la isla de calor. Otro foco pequeño de alta intensidad se ubica en el cuadrante de la Av. Libertador Bernardo O'Higgins, Lira, Av. 10 de Julio y San Ignacio de Loyola (Figura N°17 C y N°17D). Este foco representa una pequeña parte del foco de alta intensidad presentado en el caso anterior de la temporada de invierno. El resto de la comuna presenta en su mayoría baja intensidad del fenómeno con una temperatura de -0,3°C exceptuando pequeños focos de intensidad media y alta.

Figura N°16: Modelo de Regresión Lineal; Intensidad de la ICU temporada de Otoño



Fuente: Elaboración propia a partir de factores urbanos procesados en SPSS, 2020

En la figura N°17 se pueden distinguir intersecciones de calles dentro del área de estudio, nombrados anteriormente, que se identificaron dentro de cuadrantes de alta o baja intensidad de ICU. Lo interesante es que al igual que durante la temporada de invierno son los mismos focos de concentración del fenómeno.

Figura N°17: Focos de intensidad de ICU según Regresión Lineal, Otoño



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth, 2020

4.2.3 Temporada de Primavera

El modelo de regresión lineal de la intensidad de la ICU en primavera a partir de los factores urbanos mencionados anteriormente es la siguiente:

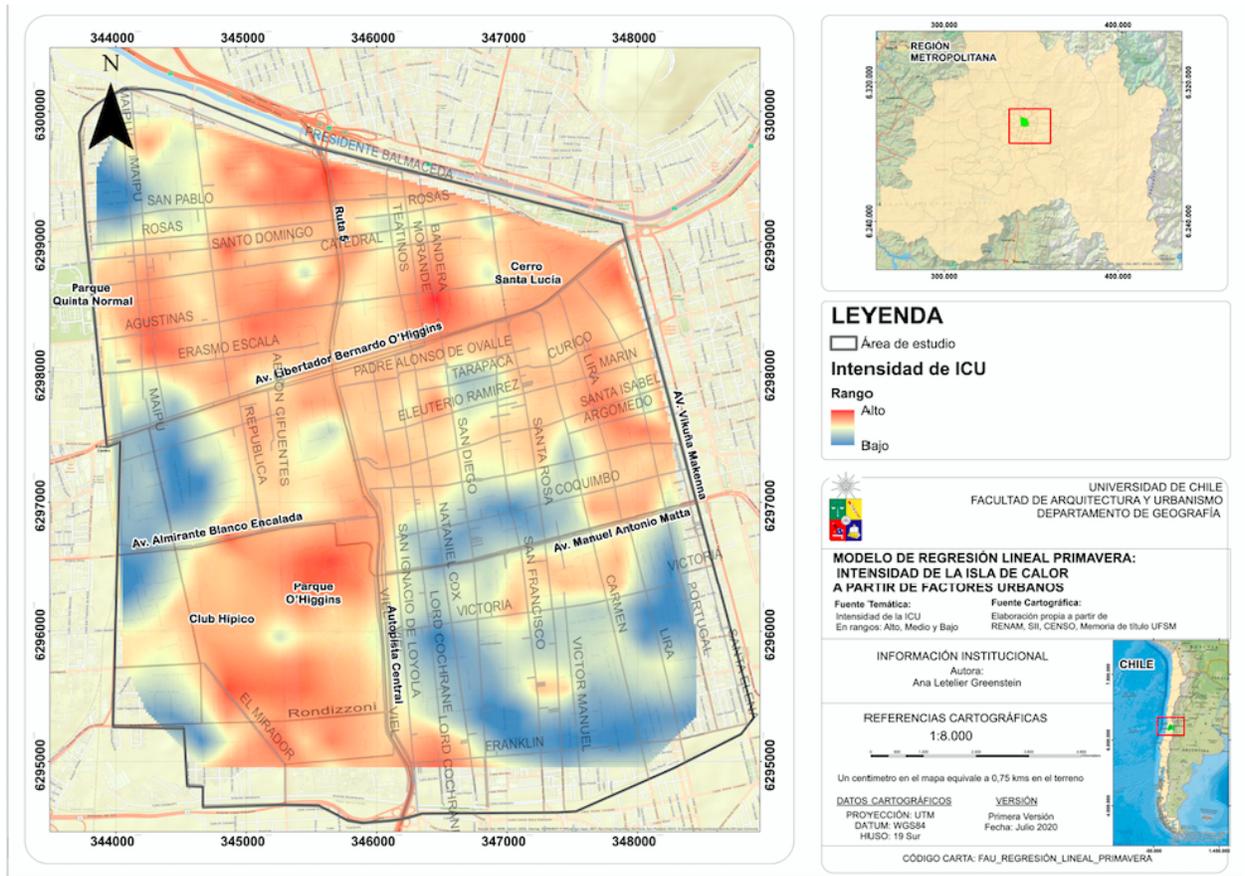
$$\begin{aligned}
 & \textit{Intensidad ICU Primavera} \\
 & = 5.102 + (0.01 * \textit{Altura de edificaciones}) + (3.42 * \textit{Densidad Pob}) \\
 & - (0.01 * \textit{Sup área verde}) + (0.12 * \textit{Calor Ruta Tp}) - (0.12 * \textit{Calor Ruta P}) \\
 & \text{R: 0,325}
 \end{aligned}$$

Al analizar la regresión lineal se aprecia que la altura de las edificaciones, la densidad poblacional y el calor del transporte público influyen de forma directa sobre la intensidad de la isla de calor en primavera. Esto significa que a medida que estas aumentan mayor es la intensidad del fenómeno. En cambio, la superficie de área verde y el calor del transporte personal contribuye de forma inversa a la intensidad de la ICU. A medida que aumenta, menor es la intensidad del fenómeno

durante la primavera. Nuevamente el factor más influyente es la densidad poblacional con el β mayor de la ecuación. El coeficiente de correlación múltiple (R) da cuenta de una correlación significativa. Esto significa que los factores urbanos tienen una incidencia importante sobre la intensidad de la ICU durante la temporada de primavera.

Al espacializar la ecuación de la regresión lineal de la intensidad de la ICU en primavera se aprecia la siguiente cartografía (Figura N°18). Este fenómeno actúa de manera completamente diferente en relación con los dos casos anteriores (invierno y otoño). En primer lugar, destaca una mayoría de áreas dentro de la comuna que presentan alta intensidad de isla de calor, con una temperatura de 5,7°C. No existen focos de alta intensidad, sino que representan la mayor superficie de la comuna de Santiago durante la temporada de primavera. Algunos ejemplos son entre las calles de Amunátegui y Bandera (Figura N°19C y N°19D). En cuanto a las áreas de baja intensidad, con una temperatura de 4°C, estas tienden a encontrarse en las áreas limítrofes de la comuna. El foco de mayor tamaño de baja intensidad se encuentra en el Suroeste de la comuna en el cuadrante de Av. Manuel Antonio Matta, Av. Vicuña Mackenna, Franklin y la Autopista Central (Figura N°19A). Un ejemplo de otro foco de baja intensidad se encuentra entre la calle Atacama y Maipú (Figura N°19B)

Figura N°18: Modelo de Regresión Lineal; Intensidad de la ICU temporada de Primavera



Fuente: Elaboración propia a partir de factores urbanos procesados en SPSS, 2020

En la figura N°19 se pueden distinguir intersecciones de calles dentro del área de estudio, nombrados anteriormente, que se identificaron dentro de cuadrantes de alta o baja intensidad de ICU.

Figura N°19: Focos de intensidad de ICU según Regresión Lineal, Primavera



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth, 2020

4.2.4 Temporada de Verano

El modelo de regresión lineal de la intensidad de la ICU en verano a partir de los factores urbanos es el siguiente:

$$\begin{aligned}
 \text{Intensidad ICU Verano} &= 1.516 + (0.36 * \text{Altura de edificaciones}) + (3.2 * \text{Densidad Pob}) \\
 &\quad - (0.02 * \text{Sup. área verde}) + (0.02 * \text{Calor Ruta Tp}) + (0.09 * \text{Calor Ruta P})
 \end{aligned}$$

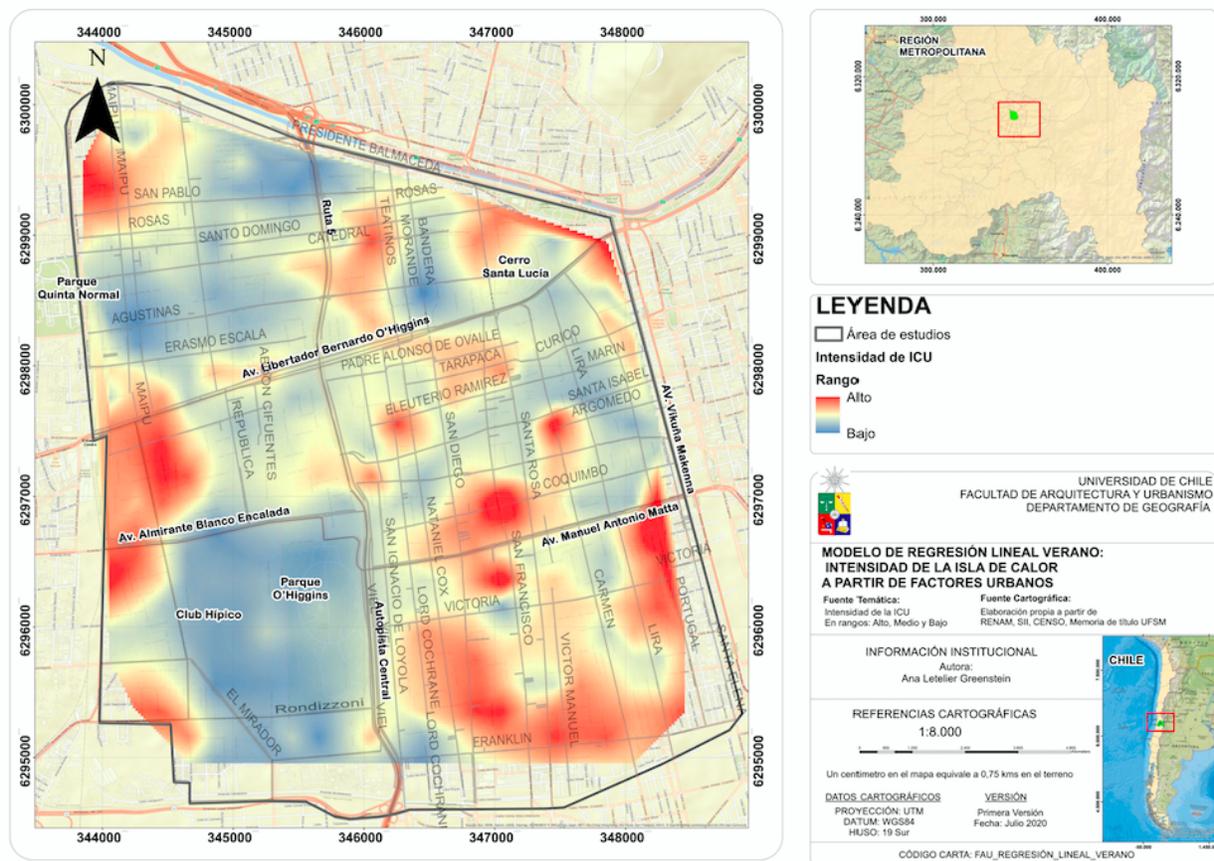
R: 0,165

El análisis de la regresión lineal de la intensidad de la ICU durante la temporada de verano indica que la altura de las edificaciones, la densidad poblacional y el calor del transporte personal son factores que inciden de forma directa sobre la intensidad del fenómeno en la comuna de Santiago durante el verano. A diferencia de la superficie de área verde en la comuna y el calor del transporte

público, factores que a medida que aumentan tanto en superficie o calor disminuirá la intensidad de la ICU durante el verano. Nuevamente el β de la densidad poblacional indica que es el factor que mayor peso tiene sobre la intensidad ya que a medida que aumenta la aglomeración poblacional mayor se volverá la intensidad de la ICU. El coeficiente de correlación múltiple (R) da cuenta de una correlación no significativa entre la intensidad de la ICU durante la temporada de verano y los factores urbanos.

Al espacializar la ecuación de la regresión lineal de la intensidad de la ICU en verano se aprecia la siguiente cartografía (Figura N°20). A diferencia de la temporada de primavera existe durante el verano una prevalencia de menor intensidad en la zona central de la comuna con grandes extensiones de alta intensidad de ICU, con una temperatura de 4,5 °C, hacia los límites de la comuna de Santiago. Ejemplo de esto es la intersección de las calles Herrera con San Pablo (Figura N°21B) y Exposición con Av. Libertador Bernardo O'Higgins (Figura N°21E). El cuadrante Suroeste de la comuna de Av. Manuel Antonio Matta, Av. Vicuña Mackenna, Franklin y la Autopista Central se comportan de forma inversa que, en primavera, presentándose dentro de esta área el mayor foco de alta intensidad de ICU durante la temporada de verano (Figura N°21C y 21D). Otro foco importante de alta intensidad se ubica en el este en donde se encuentra el límite comunal entre Av. Libertador Bernardo O'Higgins y Vicuña Mackenna (Figura N°21A)

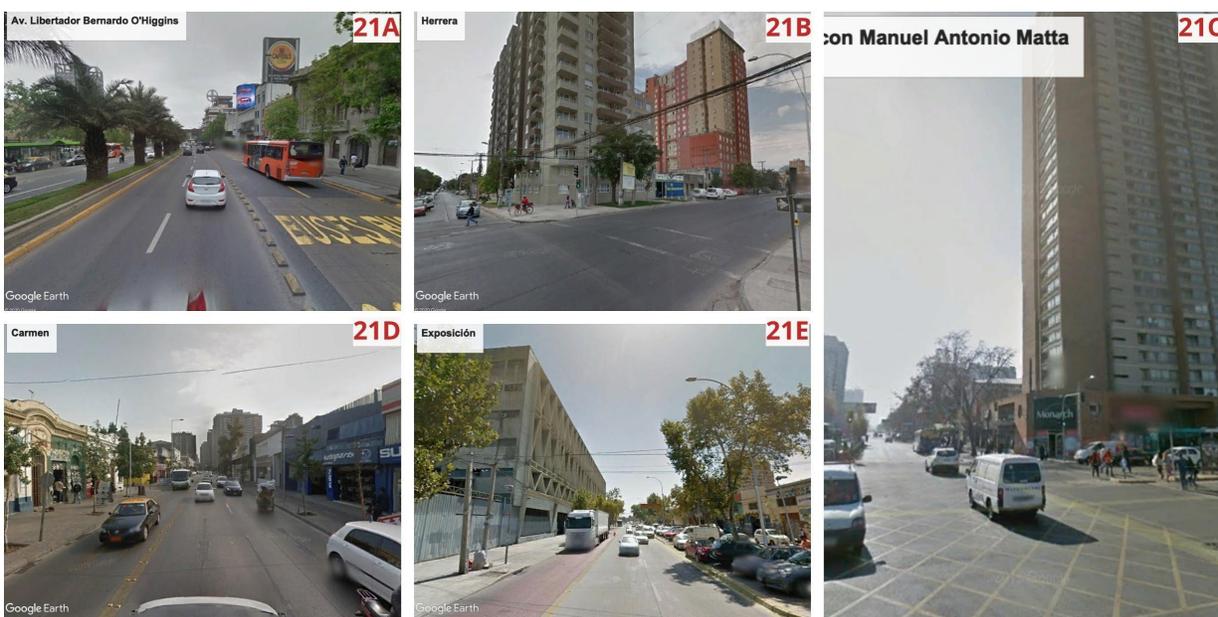
Figura N°20: Modelo de Regresión Lineal; Intensidad de la ICU temporada de Verano



Fuente: Elaboración propia a partir de factores urbanos procesados en SPSS, 2020

En la figura N°21 se pueden distinguir intersecciones de calles dentro del área de estudio, nombrados anteriormente, que se identificaron dentro de cuadrantes de alta o baja intensidad de ICU.

Figura N°21: Focos de intensidad de ICU según Regresión Lineal, Verano

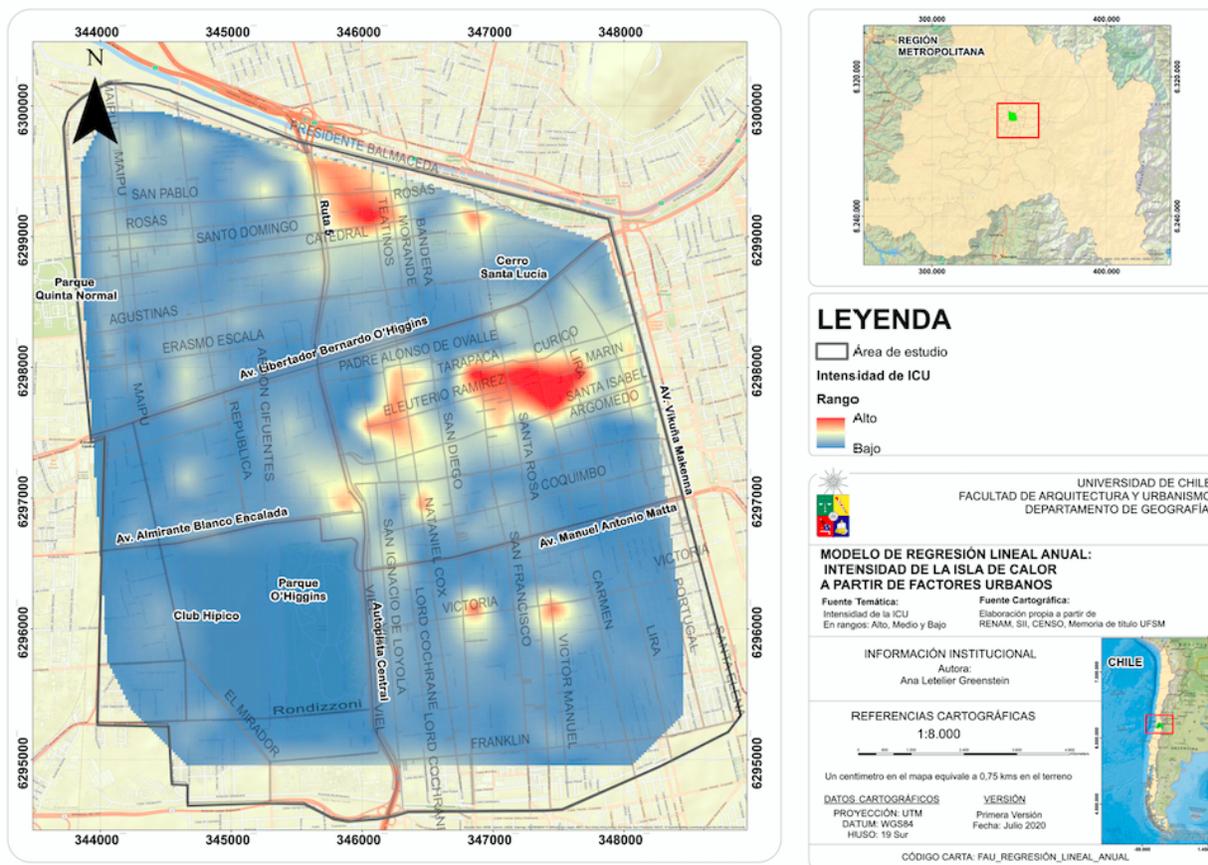


Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth, 2020

4.2.5 Anual

Para poder identificar las zonas del área de estudio en donde constantemente se presentan altas y bajas intensidades de la ICU se hizo una suma total de las intensidades anteriores. En la figura N°22 es posible apreciar dicha espacialización.

Figura N°22: Modelo de Regresión Lineal; Intensidad de la ICU Anual



Fuente: Elaboración propia a partir de factores urbanos procesados en SPSS, 2020

A partir de la cartografía es posible notar que existen 3 focos grandes de alta intensidad de la ICU que presentan una temperatura de 4,9 °C. El primer foco se encuentra en el cuadrante de las calles Presidente Balmaceda, la Autopista Central, Santo Domingo y Morandé. El epicentro de este foco es la intersección de calles Rosas con Teatinos (Figura N°23A). El segundo foco de alta temperatura se encuentra en el cuadrante de San Francisco, Santa Isabel, Lira y Tarapacá, con el centro en la intersección de calles de Marín con Carmen (Figura N°23B). El tercer foco de gran tamaño pero de menor intensidad se encuentra entre las calles de Padre Alonso, Santa Isabel, Teatinos y San Ignacio de Loyola con el punto de mayor intensidad ubicado en la intersección de calles de Lord Cochrane y Eleuterio Ramírez (Figura N°23C). Además existen 5 focos de alta

intensidad pero de pequeño tamaño que se encuentran en las siguientes intersecciones de calles:

1. Victoria con San Diego (Figura N°24A)
2. Enrique Mac Iver con Santo Domingo (Figura N°24B)
3. Autopista Central con Av. Almt Blanco Encalada (Figura N°24C y N°24E)
4. Nataniel Cox con Coquimbo (Figura N°24D)
5. Victoria con Victor Manuel (Figura N°24F)

Existe un cuadrante de intensidad media de ICU, con una temperatura de $2,47^{\circ}\text{C}$, que se encuentra en el cuadrante de las calles de Portugal, Av. Vicuña Mackenna, Curicó y Argomedo. El resto de la comuna presenta una baja intensidad y por ende no hay presencia del fenómeno de ICU. Lo interesante es que según lo calculado la Autopista Central es una divisoria importante del fenómeno de intensidad de la ICU. Según lo visto en la Figura N°22 la Autopista Central hacia Av. Vicuña Mackenna es donde existe alta intensidad del fenómeno, mientras que desde la Autopista hacia la calle Exposición es casi inexistente el fenómeno. Presentando sólo algunos focos pequeños de temperatura media. Además el área en donde se encuentra el Parque O'Higgins y el Club Hípico presenta la intensidad más baja, probablemente producto de las áreas verdes del sector.

En la figura N°23 y N°24 se pueden distinguir las intersecciones de calles dentro del área de estudio, nombradas anteriormente, que presentan alta intensidad de ICU durante el año.

Figura N°23: Focos de alta intensidad de ICU según Regresión Lineal Anual (tamaño grande)



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth, 2020

Figura N°24: Focos de alta intensidad de ICU según Regresión Lineal Anual (tamaño pequeño)



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth, 2020

A modo de conclusión de este apartado es posible a través de la generación de regresiones lineales por temporada del año identificar los factores urbanos que influyen sobre la intensidad de la ICU en la comuna de Santiago centro. A partir de esto es posible proponer lineamiento de planificación y diseño para la comuna de Santiago a partir de los factores urbanos de la densidad poblacional, la superficie de área verde, la altura de las construcciones y el calor liberado por el transporte tanto público como privado. Que por un lado mitiguen los efectos de la ICU, pero también aprovechen las consecuencias positivas que este fenómeno puede tener sobre el territorio.

4.3 Propuesta de lineamientos de planificación y diseño que consideren los factores urbanos explicativos de la intensidad de la isla de calor urbana en la comuna de Santiago enfocados en la mitigación y aprovechamiento de estas.

La propuesta de lineamientos de planificación y diseño se basará en casos de estudios tanto nacionales como internacionales en donde se ha mitigado y/o aprovechado la ICU empleando planes enfocados en los factores urbanos reconocidos para la comuna de Santiago en las distintas estaciones del año.

A continuación, se proponen ideas de planificación y diseño de los factores urbanos en pos de mitigar y/o aprovechar la ICU según una recopilación bibliográfica de casos. Es necesario recalcar que a partir del resultado anterior la tabla expondrá los factores urbanos que más pesos tienen sobre la intensidad del fenómeno estudiado que en este caso son: la altura de las construcciones, la superficie de área verde, el calor emitido por el transporte público, el calor emitido por el transporte privado y la densidad poblacional. Siendo este último el factor que mayor peso tiene de forma directa sobre la intensidad de las ICU en todas las temporadas del año.

Tabla N°3: Propuesta de lineamientos de planificación y diseño territorial según factores urbanos

Factor Urbano	Dónde se ha aplicado	Propuesta	Mitigar/ Aprovechar ICU	Como se podría aplicar al área de estudio
Superficie de Área Verde	Arica, Antofagasta, Copiapó, Rancagua, Talca, Puerto Montt y Coyhaique (CEDEUS, 2014)	Manejo y creación de áreas verdes urbanos a través de participación ciudadana.	Ayuda a mitigar la intensidad de la ICU a través de la creación de áreas verdes que disminuyen el calor presente en los territorios. A mayor superficie de área verde menor será la intensidad de la ICU en el espacio.	En el caso de la comuna de Santiago se podría analizar la factibilidad territorial de crear nuevos espacios de área verde estilo plaza bolsillo a lo largo de la comuna.
	Valparaíso y Temuco (CEDEUS, 2014)	Arborización y verificación climático de ciudades (optimización de espacios verdes, criterio para la selección de especies y manejo óptimo de áreas verdes).	Ayuda a mitigar la intensidad de la ICU a través de la creación de áreas verdes que disminuyen el calor presente en los territorios. A mayor superficie de área verde menor será la intensidad de la ICU en el espacio.	En el caso de la comuna de Santiago se podría re-arborizar los espacios verdes buscando especies que requieran de poco cuidado y recurso hídrico.

	<p>Adís Abeba, Etiopía (Legese Feyisa, Dons, & Meilby, 2014).</p>	<p>El efecto de enfriamiento de las plantas varía con el espacio, el tiempo y las propiedades específicas de la planta. Esta propuesta indica que el efecto de enfriamiento de los parques en el paisaje circundante dependía considerablemente de las especies de árboles, las características físicas del parque, el tamaño y la forma del parque, altitud, hora del día y características de las áreas circundantes que no son parques. Este estudio proporciona información sobre lo importante que es evaluar la efectividad de los espacios verdes urbanos para mitigar el efecto de isla de calor. Comprender las diferencias en los efectos de enfriamiento entre los parques es un aporte importante para la planificación urbana y diseño ecológico. Esto debido a que actúa como un guía para la elección de especies, y el tamaño y la forma de los</p>	<p>Ayuda a mitigar la intensidad de la ICU a través de la creación de áreas verdes que disminuyen el calor presente en los territorios. A mayor superficie de área verde menor será la intensidad de la ICU en el espacio.</p>	<p>En el caso de la comuna de Santiago se podría analizar cuales son las mejores especies para plantar en las áreas verdes con el fin de maximizar los efectos de enfriamiento sobre la comuna.</p>
--	---	---	---	---

		espacios verdes. Las principales recomendaciones basadas en este estudio en términos de maximizar los efectos de enfriamiento de los parques son aumentar la cobertura del dosel arbóreo de la vegetación, optimizar el tamaño y la forma del parque.		
	Vienna, Austria (Municipality of Vienna, 2018)	Plantar más árboles a lo largo de ejes principales de transporte tales como avenidas y calles principales con el fin de aumentar la superficie de área verde y contrarrestar el calor emitido por el transporte.	Ayuda a mitigar la intensidad de la ICU a través de la creación de áreas verdes que disminuyen el calor presente en los territorios. A mayor superficie de área verde menor será la intensidad de la ICU en el espacio.	En el caso de la comuna de Santiago se podría plantar una gran variedad de árboles a lo largo de avenidas principales como Av. Libertador Bernardo O'Higgins y en lugares en donde la Autopista central cruza la comuna.
Densidad Poblacional	25 barrios en Estados Unidos (Zhou, Rybski, & Kropp, 2017)	Evitar espacios compactos a través de la implementación de medidas de planificación urbana que regulen la cantidad de habitantes/ha.	Ayuda a mitigar la intensidad de la ICU debido a que cuando la densidad poblacional es alta mayor será la intensidad del fenómeno.	En el caso de la comuna de Santiago sería necesario crear un plan de desarrollo urbano que regule en primer lugar la creación de nuevos espacios habitables y la cantidad de habitantes por hectárea dentro de la comuna.

	Mendoza, Argentina (Gómez & Mesa, 2017)	Generar barrios en donde el tejido urbano está compuesto de una densidad poblacional media que coexista con una cantidad de servicios y equipamientos urbanos necesarios para satisfacer a los pobladores del entorno inmediato, disminuyendo así la necesidad del transporte y el calor que estas provocan.	Ayuda a mitigar la intensidad de la ICU debido a que regula la cantidad de calor emitido por el transporte tanto público como privado.	En el caso de Santiago se podría a través de una propuesta de planificación urbana regular la cantidad de habitantes por hectárea sumado a apoyar a la creación y desarrollo de servicios y equipamientos necesarios para los habitantes de la comuna para evitar la necesidad de utilizar transporte para abastecer de dichas necesidades.
	Nagpur, India (Bouyer, Musy, Huang, & Athamena, 2011)	La creación de un plan estratégico de mitigación de la ICU a través de la regulación de uso de suelo y la distribución de la densidad de la población dentro de las áreas urbanas para así evitar una mayor formación de la isla de calor urbana.	Ayuda a mitigar la intensidad de la ICU a través de la regulación de la densidad poblacional a través de regular la cantidad de uso de suelo que es residencial.	En el caso de la comuna de Santiago sería necesario generar un plan de desarrollo urbano que regulará la cantidad de suelo que en el futuro podría ser usado para fines residenciales, con el fin de disminuir el crecimiento de la población residencial dentro de la comuna y por ende mitigar la propagación de la ICU.
Altura de las construcciones	Mendoza, Argentina (Gómez & Mesa, 2017)	La agrupación de edificios de fachada continúa sumado a una regulación de la altura de dichos edificios, disminuye la superficie de envolvente expuesta, reduciendo así los requerimientos calefacción en invierno y refrigeración en verano.	Ayuda a aprovechar la intensidad de la ICU a través de generar un menor gasto energético humano a través de la utilización del calor emitido en la calefacción y enfriamiento de las construcciones.	En el caso de la comuna de Santiago se podría regular la altura de las nuevas construcciones con el objetivo de que ayudar a generar aprovechamiento energético a través del calor emitido.

	<p>Ondiep, Países Bajos</p> <p>(Kleerekoper, Esch van, & Baldiri, 2012).</p>	<p>Se propone ensanchar las calles lo cual influirá en la relación entre altura y anchura del espacio. En el caso de Ondiep la relación entre la altura y la anchura provocará una mejora en la ventilación natural que será estimulada por los techos inclinados.</p>	<p>Ayuda a mitigar la intensidad de la ICU a través de mejorar la ventilación del espacio público existiendo una clara relación entre el ancho de las calles y la altura de las construcciones.</p>	<p>En el caso de Santiago se podría ensanchar las calles a través de la creación de ciclovías que expropian una vía de locomoción. De esta forma disminuye la cantidad de vehículos que pueden circular por las calles sin la necesidad de construir más calle.</p>
	<p>Lyon, Francia</p> <p>(Kotharkar & Surawar, 2016)</p>	<p>Se propone que las construcciones tengan techos en ángulo que ayuden a reflejar la luz solar y por ende disminuir el albedo de las construcciones. Además se aconseja cubrir la fachada de las construcciones en materiales de baja efectividad.</p>	<p>Ayuda a mitigar la intensidad de la ICU a partir de que el techo de las construcciones en ángulo disminuye el albedo y por ende disminuye la intensidad de la ICU.</p>	<p>En el caso de la comuna de Santiago se podría proponer como lineamiento que las nuevas construcciones tengan una superficie techada en ángulo o que tengan techos verdes (plantaciones) que ayuden a disminuir el albedo.</p>
<p>Calor emitido por el transporte público y privado</p>	<p>Vienna, Austria</p> <p>(Municipality of Vienna, 2018)</p>	<p>Reducción del transporte privado motorizado del 28% actual al 15% para el año 2030.</p>	<p>Ayuda a mitigar la intensidad de la ICU disminuyendo la cantidad de calor que se emite por número de vehículos privados que emiten calor.</p>	<p>En el caso de la comuna de Santiago se tendría que generar un proyecto que promueva disminuir la cantidad de transporte privado permitido en la comuna en un número que sea razonables para la realidad comunal dentro de una fecha determinada.</p>

	Vienna, Austria (Municipality of Vienna, 2018)	Plantar árboles en los paraderos de transporte público con el fin de generar sombra y contrarrestar los efectos del calor generado por el transporte.	Ayuda a mitigar la intensidad de la ICU a través de disminuir la temperatura formada por la emisión de calor de los vehículos de transporte público.	En el caso de la comuna de Santiago se podrían plantar más árboles en los paraderos de micro, en especial a lo largo de las avenidas principales como Av. Libertador Bernardo O'Higgins.
--	--	--	---	--

Fuente: Elaboración propia a partir de recopilación bibliográfica, 2020

La tabla anterior da cuenta de las posibilidades que existen en la comuna de Santiago centro de mejorar el estado actual del territorio y la calidad de vida de quienes habitan y transitan diariamente por la comuna.

A partir de esos lineamientos y sumado a los resultados anteriores es posible identificar áreas de la comuna en donde sería posible implementar planificación y diseño territorial para el aprovechamiento y/o mitigación de las ICU. A continuación se ejemplifican algunos casos.

En primer lugar, a partir de las propuestas y lineamientos en torno a la superficie de área verde presente en la comuna existen varios puntos en el área de estudio en donde la creación y manejo de área verde podría disminuir la intensidad de la ICU. En la figura N° 25 es posible distinguir intersecciones de calle que anteriormente fueron identificadas como puntos focales de alta intensidad de ICU de forma anual que podrían mejorar en su diseño territorial.

Figura N°25: Propuesta de planificación y diseño de superficie de área verde



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth, 2020

A partir de las imágenes se ve una necesidad de crear y aumentar la cantidad de área verde, en especial en las áreas que actúan como calles de entrada hacia autopistas. Tal como se ejemplifica hoy en Santiago centro hay áreas verdes que deben cumplir el propósito de disminuir la temperatura producto de la gran fluctuación de vehículos que entran y salen de la autopista, pero por lo visto estas superficies verdes no dan abasto en cuanto a la influencia que tienen sobre la temperatura del sector. Sería interesante aumentar la superficie de estas pequeñas plazas que se ven en la entrada de Almirante Blanco Encalada y Mapocho hacia la Autopista Central (Figura N°25A y 25C). Sumado a esto se podría aumentar la superficie de área verde a lo largo de Nataniel Cox (Figura N°25B). Además de asegurarse que las especies presentes en ellas son correctas para el clima del área de estudio, sumado a esto se propone un mejor manejo en el riego y cuidado de ellas.

En segundo lugar, existe una relación directa entre la intensidad de la ICU, la densidad poblacional y la superficie construida. A continuación se presentan algunos ejemplos dentro de la comuna en donde la planificación y diseño territorial sensible al clima sería de utilidad. (Figura N°26).

Figura N°26: Propuesta de planificación y diseño de densidad poblacional



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth, 2020

Como se observa en las imágenes hay áreas de la comuna en donde existe claramente una alta densidad poblacional en relación con el espacio presente y la cantidad de servicios disponibles. La primera imagen, donde se aprecia la intersección de San Diego con Victoria (Figura N°26A), es donde existe una construcción de gran tamaño que no coexiste de forma armoniosa con el resto del espacio. Este edificio es el único en este tramo de calle de esta magnitud, mientras que el resto de las construcciones son de pequeño tamaño. Se podría suponer entonces que la cantidad de personas que deben vivir en ese edificio probablemente es mayor al resto de la manzana. Esta alta densidad poblacional en un solo edificio provoca alta intensidad de la ICU.

Luego está el ejemplo de la Autopista Central (Figura N°26B) rodeada de altos edificios. La alta densidad poblacional del sector sumado a la gran fluctuación de vehículos provoca altas intensidades de las ICU. Por último, la intersección de calles de Marín con Carmen (Figura N°26C) en donde hay varios edificios de gran altura, en donde la densidad poblacional probablemente es alta, sumado a calles muy angostas claramente son espacios en donde será muy alta la intensidad del fenómeno estudiado. Estas áreas dentro de la comuna se pueden utilizar como ejemplo del efecto que tienen las áreas compactas sobre la ciudad, resguardando que las próximas construcciones dentro de la comuna no sean compactas y presenten servicios y equipamientos necesarios para una calidad de vida alta. Esto disminuye la densidad poblacional y por ende también la intensidad de la ICU.

Tercero está la relación entre la altura de las construcciones y la intensidad de la ICU. Por lo visto en la tabla anterior es necesario resguardar la altura de las construcciones con el objetivo de mitigar

y/o aprovechar la ICU. A continuación se muestran algunos ejemplos dentro del área de estudio en donde la altura de las edificaciones juega un rol importante en la intensidad del fenómeno estudiado (Figura N°27).

Figura N°27: Propuesta de planificación y diseño de altura de las construcciones



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth, 2020

Nuevamente se utiliza el ejemplo de la intersección de calles de Marín con Carmen (Figura N°27C) en donde la altura de las construcciones en relación con la anchura de la calle juega un rol importante en la intensidad de la ICU. En el caso de las calles Enrique Mac Iver y Santo Domingo (Figura N°27B), la construcción alta en relación con el resto de las construcciones bajas provoca el aumento en la intensidad de la ICU. Lo mismo sucede en la intersección de Compañía de Jesús con Teatinos (Figura N°27A) en donde hay una presencia de altos edificios rodeados de pequeñas construcciones antiguas. Es importante que se utilicen los lineamientos de planificación y diseño con tal de evitar la creación de edificios de gran altura en espacios en donde reducido y compactos como lo son los ejemplos anteriores. Además de evitar la conglomeración de estas construcciones, apreciado en el ejemplo de Marín con Carmen. Sumado a proponer que nuevas construcciones de gran altura en la comuna tengan una altura máxima permitida y como se propuso en la tabla anterior techos en ángulo que ayuden a reflejar la luz del sol. Esto con el objetivo de disminuir y/o aprovechar la ICU.

Por último, está la relación entre el calor emitido tanto por el transporte público y privado y la intensidad de la ICU. Tal como se mencionó en la tabla N°3 se podría mejorar la relación entre el calor emitido por el transporte y la intensidad de la ICU. Primero generando propuestas de planificación comunal enfocados en la disminución del número de vehículos privados dentro de la comuna en un plazo estipulado. Segundo, mejorar los paraderos de bus dentro de la comuna aumentando la cantidad de sombra que existe, a través de la incorporación de un mayor número de árboles alrededor de los paraderos. En la Figura N° 28 se muestran algunos paraderos ubicados,

como ejemplo, en la Avenida Libertador Bernardo O'Higgins en donde se podría aumentar la cantidad de arbolado con el fin de reducir el calor emitido por el transporte público.

Figura N°28: Propuesta de planificación y diseño de calor emitido por el transporte público



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth, 2020

A modo de conclusión existen dentro de la comuna de Santiago centro varias zonas en donde se identifican la forma en la cual los factores urbanos influyen sobre la intensidad de la ICU. Además de este producto de la tabla desarrollada es posible notar que hay varios ejemplos tanto nacionales como interacciones que podrían ser utilizados para generar propuestas de planificación y diseño territorial aplicables en el área de estudio.

Capítulo 5: Discusiones y conclusiones

Esta investigación identificó y evaluó los factores urbanos (densidad poblacional, superficie de área verde, altura de las construcciones y calor del transporte público y privado) que explican la intensidad de la ICU en la comuna de Santiago Centro entre el año 2016 a 2017. El resultado de esta investigación propone lineamientos de planificación y diseño territorial que van dirigidos hacia los factores urbanos causantes de la ICU.

Se elaboró un modelo de regresión lineal por temporada del año que permite identificar la influencia que tiene cada factor urbano sobre la intensidad de la ICU, que es desplegada en la siguiente tabla (N°4).

Tabla N°4: Modelo de regresión lineal de la intensidad de la ICU por temporada del año

Temporada del año	Regresión lineal por temporada
Invierno	$Intensidad\ de\ ICU\ Invierno = 1.535 + (0.04 * Altura\ edificaciones) + (4.37 * Densidad\ Pob) - (0.01 * Sup\ área\ verde) - (0.06 * Calor\ Ruta\ Tp) + (0.03 * Calor\ Ruta\ P)$
Otoño	$Intensidad\ ICU\ Otoño = 0.156 + (0.08 * Altura\ de\ edificaciones) + (4.29 * Densidad\ Pob) - (0.01 * Sup\ área\ verde) - (0.08 * Calor\ Ruta\ Tp) - (0.01 * Calor\ Ruta\ P)$
Primavera	$Intensidad\ ICU\ Primavera = 5.102 + (0.01 * Altura\ de\ edificaciones) + (3.42 * Densidad\ Pob) - (0.01 * Sup\ área\ verde) + (0.12 * Calor\ Ruta\ Tp) - (0.12 * Calor\ Ruta\ P)$
Verano	$Intensidad\ ICU\ Verano = 1.516 + (0.36 * Altura\ de\ edificaciones) + (3.2 * Densidad\ Pob) - (0.02 * Sup.\ área\ verde) + (0.02 * Calor\ Ruta\ Tp) + (0.09 * Calor\ Ruta\ P)$

Fuente: Elaboración propia a partir de RENAM, DGA y procesamiento de factores urbanos, 2020

A través de los modelos de regresión lineal se comprobó que el factor urbano explicativo de densidad poblacional es la causa de mayor incidencia sobre la intensidad de la ICU. En segundo lugar, le sigue la altura de las construcciones y/o el calor emitido por el transporte público dependiendo de la temporada del año. El calor generado por el transporte privado tiene una incidencia importante durante la temporada de verano. La superficie de área verde actúa siempre como un factor inverso sobre la intensidad de la ICU. La forma en la que actúan los factores urbanos en relación con la intensidad de la ICU va en relación directa a lo indicado por Paravantis

et al. (2015) que plantean que son los factores urbanos que influyen y modelan la intensidad de la ICU en el espacio.

En cuanto a la densidad poblacional y la altura de las construcciones, estas influyen siempre de forma directa sobre la intensidad de la ICU. A medida que aumenta la altura de las construcciones y la densidad de la población en un territorio, mayor será la intensidad de la ICU. La influencia del calor generado por el transporte público y privado no siguen una tendencia clara. Por un lado, durante la temporada de invierno y otoño, la intensidad del calor emitido por el transporte público tiene un rol inverso mientras que durante el verano y la primavera afecta de forma directa. Por el otro lado, el calor emitido por el transporte privado tiene una incidencia directa en invierno y verano e inversa durante primavera y otoño. Se podría suponer que esto puede tener relación con los limitantes metodológicos de la obtención de datos de RENAM en el caso de la temperatura, sumado a que los datos de calor de transporte provienen de una memoria de tesis enfocada en el calor emitido por el transporte en toda la Región Metropolitana y no en el detalle de la comuna de Santiago. La superficie de área verde juega un rol importante como un factor que afecta de forma inversa a la intensidad de la ICU, a medida que aumenta la superficie de área verde menor será la intensidad de la ICU.

El comportamiento de los factores urbanos durante el presente estudio está además respaldado por varios expertos en el tema. Sangines (2013) plantea que a mayor sea el número de personas habitando un espacio mayor será el calor emitido aumentando así la intensidad ICU, argumento que se ve respaldado a lo largo del modelo de regresión lineal propuesto. Al igual que Meneses (2017), que plantea que la altura y el material de las construcciones influye la intensidad de la isla de calor, reafirmando así la importancia de dicho factor dentro del modelo propuesto. Por último, los autores Kondoh et. al (1999), determinan que a mayor sea la superficie de área verde mayor será el proceso de evapotranspiración disminuyendo así la temperatura urbana, enunciado que se puede ver claramente reflejado en los resultados de las regresiones lineales propuestas a lo largo del estudio.

El calor emitido por el transporte público y privado en temporadas del año durante el estudio actúa, tal como indica Elsayed (2012), cuanto mayor sea la congestión vehicular mayor será la intensidad de la ICU. En otras temporadas como es otoño, actuó de forma completamente inversa a medida que aumentaba el calor del transporte disminuye la intensidad de la ICU. Esta diferencia se puede deber a un alcance metodológico en la obtención del factor de calor emitido por el transporte.

Por lo visto, durante la generación de una tabla resumen de lineamientos de planificación y diseño territorial de los factores urbanos para la mitigación y/o aprovechamiento de la ICU (4.3), existen una serie de ejemplos nacionales e internacionales que podrían servir de guía en la comuna de Santiago Centro para mejorar el espacio y la calidad de vida de los habitantes.

Entonces, a partir de lo descrito anteriormente se determina que las implicancias de los resultados obtenidos durante esta investigación son las siguientes;

En primer lugar, los factores urbanos estudiados tienen incidencia sobre la intensidad de la ICU en la comuna de Santiago Centro. En el caso de los factores urbanos de altura de las construcciones y la densidad poblacional, estas influyen de forma directa sobre la intensidad de la ICU. La superficie de área verde siempre influye de manera inversa sobre la intensidad de la ICU. Por último, el calor emitido por el transporte público y privado no se comporta de forma constante a lo largo del estudio por lo que no se puede identificar de qué forma influye sobre la intensidad de la ICU, a partir de este estudio.

En segundo lugar, habiendo identificado estos factores urbanos y modelado la isla de calor a partir de ellos en la comuna de Santiago Centro, es posible identificar puntos dentro de la comuna en donde existe una alta intensidad del fenómeno estudiado. Esta identificación es importante a la hora de pensar, planificar y diseñar la ciudad. Debido a que planificar y diseñar la ciudad tomando en cuenta los factores urbanos que son la causa del fenómeno, versus planificar y diseñar cuando ya existe la consecuencia (ICU en el territorio) son dos escenarios completamente diferentes.

En el caso de Santiago Centro, en donde existe una zona en donde ya hubo un recambio en el tejido urbano, donde hay grandes construcciones en altura con una gran cantidad de densidad poblacional y pequeñas superficies de área verde, es necesario pensar en soluciones para la mitigación y/o aprovechamiento de la intensidad de la ICU. A diferencia de las zonas de la comuna en donde aún existen construcciones pequeñas y antiguas, donde aún no habitan grandes cantidades de personas. Existe una oportunidad de planificar y diseñar el territorio tomando en cuenta los lineamientos propuestos. De todos modos, y en ambos casos, es importante comprender el contexto mundial en el cual no encontramos en donde el cambio climático tiene un efecto constante sobre nuestro habitar y que a medida que pasa el tiempo las temperaturas diarias y la cantidad de recursos naturales podrían cambiar drásticamente. Es por esto que la planificación y diseño sensible al clima debe ser un concepto crucial a la hora de generar instrumentos de planificación.

Es necesario también analizar las limitaciones metodológicas que se presentaron a lo largo de este estudio y que pueden haber impactado negativamente sobre los resultados. En primer lugar, producto de que RENAM no había generado una gran cantidad de mediciones de temperatura durante las temporadas de primavera y verano, esto puede haber tenido un efecto perjudicial a la hora de generar una representación adecuada o realista de la intensidad de la isla de calor durante estas temporadas. Esto fue reparado durante el estudio debido a que los datos fueron suficientes para generar una línea comparativa que permitiera hacer un análisis adecuado, sumada a la bibliografía de autores relevantes en el tema que respaldan la investigación. En segundo lugar, al analizar la correlación de los factores urbanos se determinó que en gran medida la correlación de

los factores presenta una baja correlación. Esto se podría presentar como una limitante en el estudio, pero producto de que existe literatura de expertos que avala una relación entre los factores urbanos y su influencia sobre la intensidad de la ICU, se decidió seguir adelante con la creación de los modelos. Tercero, en lo que refiere al factor urbano de emisión de calor por parte del transporte público y privado, es posible estimar que al no actuar de forma constante en los modelos de regresión lineal propuestos, podría deberse a un problema en la base de datos provenientes de un estudio exploratorio similar a la presente investigación. Aunque, producto de esto, no se pueda determinar por completo la influencia de dicho factor sobre la intensidad de la ICU, se podría suponer que de acuerdo con la opinión de los expertos (Elsayed, 2012) este factor tiene una influencia directa sobre la intensidad del fenómeno estudiado.

La información generada durante este estudio podría ser complementada con un análisis de una variedad de otros factores urbanos que también podrían tener un efecto importante sobre la intensidad de la ICU. Esto requeriría de una gran base de datos para poder emplear dicho estudio y, es por esta razón, que se usaron los factores urbanos seleccionados. Otro análisis complementario sería ahondar en detalle sobre espacios dentro de la comuna en donde se podrían generar nuevas superficies de área verde, sumado a la determinación de espacios donde se podrían generar construcciones con techos en ángulos, con el fin de que el calor generado por las construcciones fuera utilizado como forma de calefacción. Además, sería de mucha utilidad profundizar en el tema del transporte público y los efectos que diferentes tipos de transporte pueden tener sobre la intensidad de la ICU. Por ejemplo, generar estudios en torno al intercambio de los buses actuales por buses eléctricos.

Finalmente, se concluye que la metodología propuesta durante esta investigación es de utilidad, debido a que permite determinar la influencia de los factores urbanos sobre la intensidad de la isla de calor en la comuna de Santiago Centro dentro de un periodo determinado. Por lo que es válido asumir que los resultados generados durante este estudio, podrían ser utilizados de forma complementaria a la hora de generar instrumentos de planificación comunal. Esto tanto en comunas de la Región Metropolitana como en comunas de otras regiones que presentan condiciones físicas y socioeconómicas similares a Santiago centro.

Bibliografía

- Annex, I., & Parry, M. (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: IPCC.
- Arellano, B., & Roca, J. (2015). Planificación Urbana y Cambio Climático. *International Conference on Regional Science: Innovation and Geographical spillovers*.
- ATSDR. (2016). *ToxFAQs™ - Óxidos de nitrógeno (monóxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, etc.) (Nitrogen Oxides)*. Obtenido de Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts175.html
- Berlinger, J. (2019, Septiembre 9). *Olas de calor en Francia están relacionadas con 1500 muertes*. From CNN: [https://cnnespanol.cnn.com/2019/09/09/olas-de-calor-en-francia-estan-relacionadas-con-1-500-muertes/#:~:text=\(CNN\)%20%E2%80%94%20Un%20par%20de,21%20al%2027%20de%20julio](https://cnnespanol.cnn.com/2019/09/09/olas-de-calor-en-francia-estan-relacionadas-con-1-500-muertes/#:~:text=(CNN)%20%E2%80%94%20Un%20par%20de,21%20al%2027%20de%20julio).
- Bouyer, J., Musy, M., Huang, Y., & Athamena, K. (2011). Mitigating Urban Heat Island Effect by Urban Design: Forms and Materials. In *Cities and Climate Change: Responding to an Urgent Agenda* (pp. 164-181). The Worldbank.
- CEDEUS. (2014). *Adaptación Urbana al Cambio Climático Propuesta para la Adaptación Urbana al Cambio Climático: en Capitales Regionales de Chile*.
- Conde, C., Pabón, D., & Sánchez, R. (2013). La importancia de la información climática para la planificación del crecimiento y desarrollo urbano. *CEPAL*, 29.
- Cuadrat, J., Vicente-Serrano, S., & Saz, M. (2005). Los efectos de la urbanización en el clima de Zaragoza (España): La isla de calor y sus factores condicionantes. *Boletín de la Asociación de Geógrafos*, 311–327.
- De Mattos, C., Fuentes, L., & Link, F. (2014). Tendencias recientes del crecimiento metropolitano en Santiago de Chile. ¿Hacia una nueva geografía urbana? *Revista INVI*, 193-219.
- Dursun, D., & Yavas, M. (2015). Climate-Sensitive Urban Design in Cold Climate Zone: The City of Erzurum, Turkey. *International review for spatial planning and sustainable development*. ECURED. (s/f). *ECURED*. From Distancia euclídea: https://www.ecured.cu/Distancia_eucl%C3%ADdea

Elsayed, I. (2012). Mitigation of the Urban Heat Island of the City of Kuala Lumpur , Malaysia. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 1602–1613.

Emil Vollset, S., Goren, E., & Yuan, C.-W. (2020). Fertility, mortality, migration, and population scenarios for 195 countries and territories from 2017 to 2100: a forecasting analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet*.

Esri. (s/f). *Extraer valores múltiples a puntos*. From <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/extract-multi-values-to-points.htm>

Gajardo, S. (2019). *Región Metropolitana de Santiago: Índice de prioridad social de comunas 2019*. Santiago: Seremi de Desarrollo Social y Familia Metropolitana.

Gálvez, J. (2014). Criterios para la planificación y diseño de los corredores fluviales urbanos para la mitigación de la isla de calor. *CONAMA*.

Gartland, L. (2008). *Heat islands: understanding and mitigating heat in urban areas*. Londres: Earthscan.

Gedzelman, S., Austin, S., Cermak, R., Stefano, N., & Partridge, S. (2003). Mesoscale aspects of the Urban Heat Island around New York City. *Theoretical and Applied Climatology*, 29-42.

Hathaway, E., & Sharples, S. (2012). The interaction of rivers and urban form in mitigating the Urban Heat Island effect: A UK case study. *Building and Environment*, 14–22.

Gobierno Regional Metropolitano. (2019). Superficie total en hectáreas de área verde presentes en la comuna de Santiago.

Gómez, J., & Mesa, y. A. (2017). Determinación de densidades urbanas sostenibles en base a metodología relativa al acceso solar: caso área metropolitana de Mendoza, Argentina. *Revista de Urbanismo*.

IISD. (2010). *Kit de herramientas para incorporar la adaptación al cambio climático en proyectos de desarrollo*. International Institute for sustainable development.

Ilustre Municipalidad de Santiago. (2016). *Reseña Histórica*. From Muni Stgo: <https://www.munistgo.cl/historia-2/>

INE. (2017). Censo 2017.

Kelly, T. (2010). Body Heat: Sweden's New Green Energy Source. *Time Magazine*.

Kim, Y., & Baik, J. (2002). Maximum Urban Heat Island Intensity in Seoul. *Journal of Applied Meteorology*, 651-659.

Kleerekoper, L., Esch van, M., & Baldiri, T. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Elsevier; Resources, Conservation and Recycling*, 30-38.

Kondoh, A., & Nishiyama, J. (1999). Changes in hydrological cycle due to urbanization in the suburb of Tokyo Metropolitan Area, Japan. *Advances in Space Research*, 1173–1176

Kotharkar, R., & Surawar, M. (2016). Land Use, Land Cover, and Population Density Impact on the Formation of Canopy Urban Heat Islands through Traverse Survey in the Nagpur Urban Area, India. *Journal of Urban Planning and Development*.

Legese Feyisa, G., Dons, K., & Meilby, H. (2014). Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. *Elsevier; Landscape and Urban Planning*, 87-95.

Martin-Vide, J., & Cordobilla, M. J. (2015). *La isla de calor en el Área Metropolitana de Barcelona y la adaptación al cambio climático*.

Meneses, T. (2017). Análisis espacio-temporal de variables que inciden en la generación de isla de calor urbana en la localidad de Kennedy. . *Universidad Santo Tomás, Bogotá*.

Moreno, M. (2016). El estudio de la isla de calor urbana en el ámbito mediterráneo: una revisión bibliográfica. *Revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales*, 742-98.

Municipality of Vienna. (2018). *Urban Heat Island Strategy City of Vienna*. Municipality of Vienna, Vienna Environmental Protection Department: BOKU Vienna.

Observatorio Demográfico. (2016). La población de América Latina alcanzará 625 millones de personas en 2016, según estimaciones de la CEPAL. *CEPAL*.

Oke, T. (2017). *Urban Climates*. Cambridge: University Printing House, Cambridge.

OMS. (2018). *Calidad del aire y salud*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

- Paravantis, J., Epaminond, A., Mihalakakou, G., & Stigka, E. (2015). Urban heat island intensity: a literature review. *Fresenius Environmental Bulletin*, 4548.
- Raven, J. S. (2018). *Urban Planning and Urban Design*. Cambridge University Press.
- Rizwan, A. M., Dennis, Y., & Liu, C. (2007). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of environmental sciences*.
- Rojas, G. (2019). modelo de la distribución temporal y espacial de la generación de calor por tráfico vehicular en zona urbana de la Región Metropolitana de Santiago . *Universidad Técnica Federico Santa María*.
- Romero, H., Salgado, M., & Smith, P. (2010). Cambios climáticos y climas urbanos: Relaciones entre zonas termales y condiciones socioeconómicas de la población de Santiago de Chile. *Revista Invi*.
- Sailor, D., & Lu, L. (2004). A top-down methodology for developing diurnal and seasonal anthropogenic heating profiles for urban areas. *Atmospheric Environment*, 2737–2748.
- Sangines, D. (2013). Metodología de evaluación de la isla de calor urbana y su utilización para identificar problemáticas energéticas y de planificación urbana. *Universidad de Zaragoza*.
- Sarricolea, P., Aliste, E., Castro, P., & Escobedo, C. (2008). Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos. *Revista de Climatología*, 71-84.
- Sarricolea, P., & Martín-Vide, J. (2013). La isla de calor urbana del área metropolitana de Santiago (AMS) de Chile a partir de diferencias térmicas de los observatorios de Talagante y Cerrillos. *Perspectiva Geográfica*, 239-256.
- Smith, P. (2011). Distribución termal intraurbana en Santiago de Chile. aporte a la gestión ambiental de la ciudad a partir de la construcción de un modelo que permita generar un mapa térmico de verano
- Tumini, I. (2010). Estrategias para la reducción del efecto isla de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicado al caso de Madrid. *Sustainable building conference*.
- Useros, F. L. (2012). El cambio climático sus causas y efectos medioambientales. *Anales de la Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, 71-98.

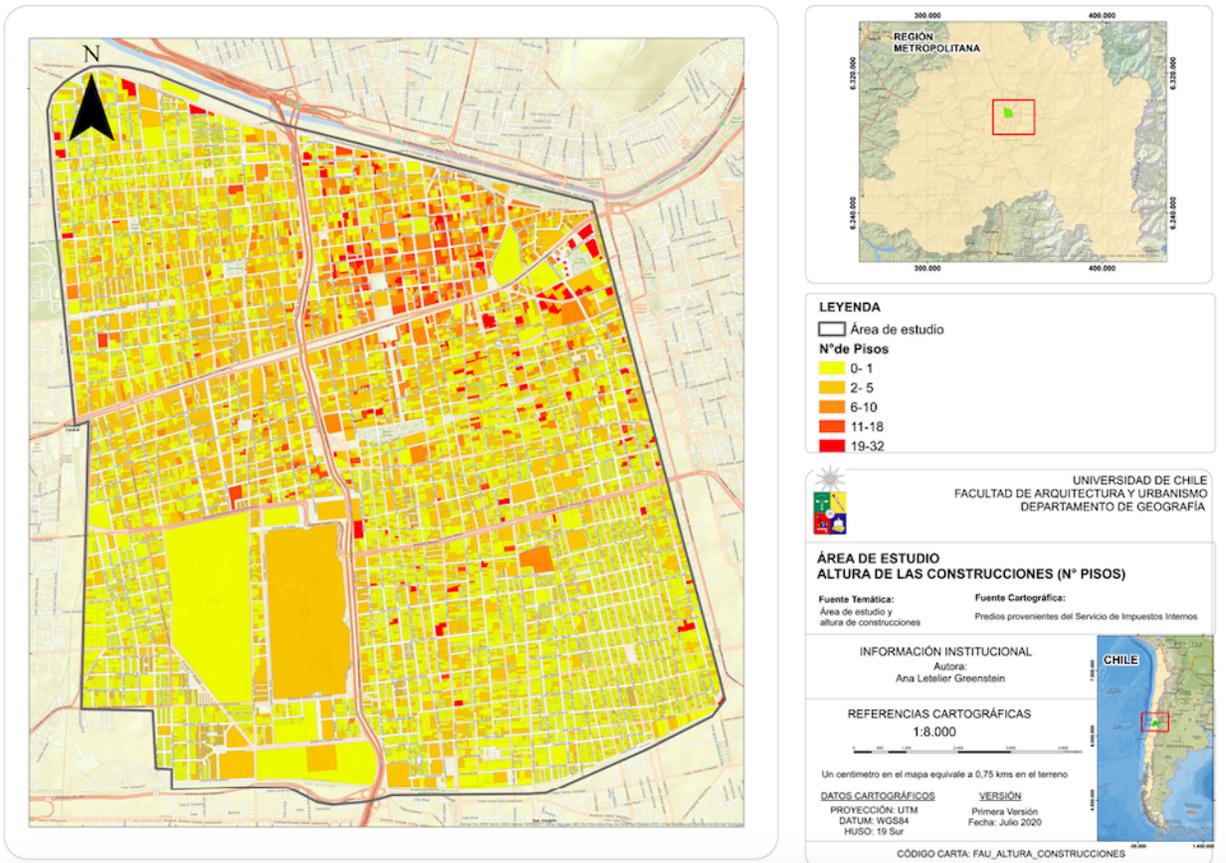
W, L., C, J., J, Z., X, J., & Z, Z. (2007). Temporal characteristics of the Beijing urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology*, 213-221.

Zapata, J. (2014, Noviembre 26). From Análisis de regresión y correlación simple con SPSS: <https://www.youtube.com/watch?v=nKCPB78uuBg&list=PLLXMon4x4a6XjzBqfG-28J1wIa5dSbWa8&index=6&t=469s>

Zhou, B., Rybski, D., & Kropp, J. P. (2017). The role of city size and urban form in the surface urban heat island. *Scientific Reports volume*.

Anexos

Anexo N°1: Altura de las construcciones, Santiago centro



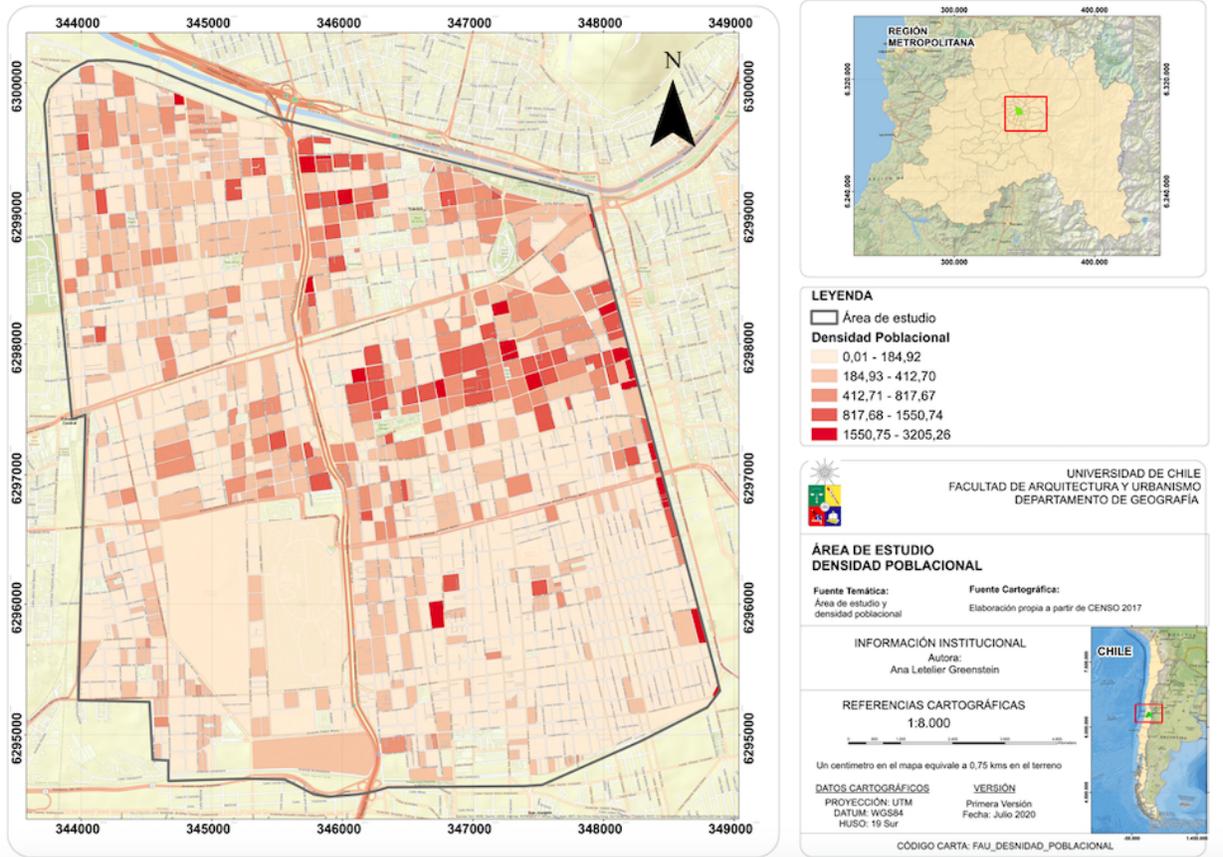
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SII, 2020

Anexo N°2: Superficie de área verde, Santiago Centro



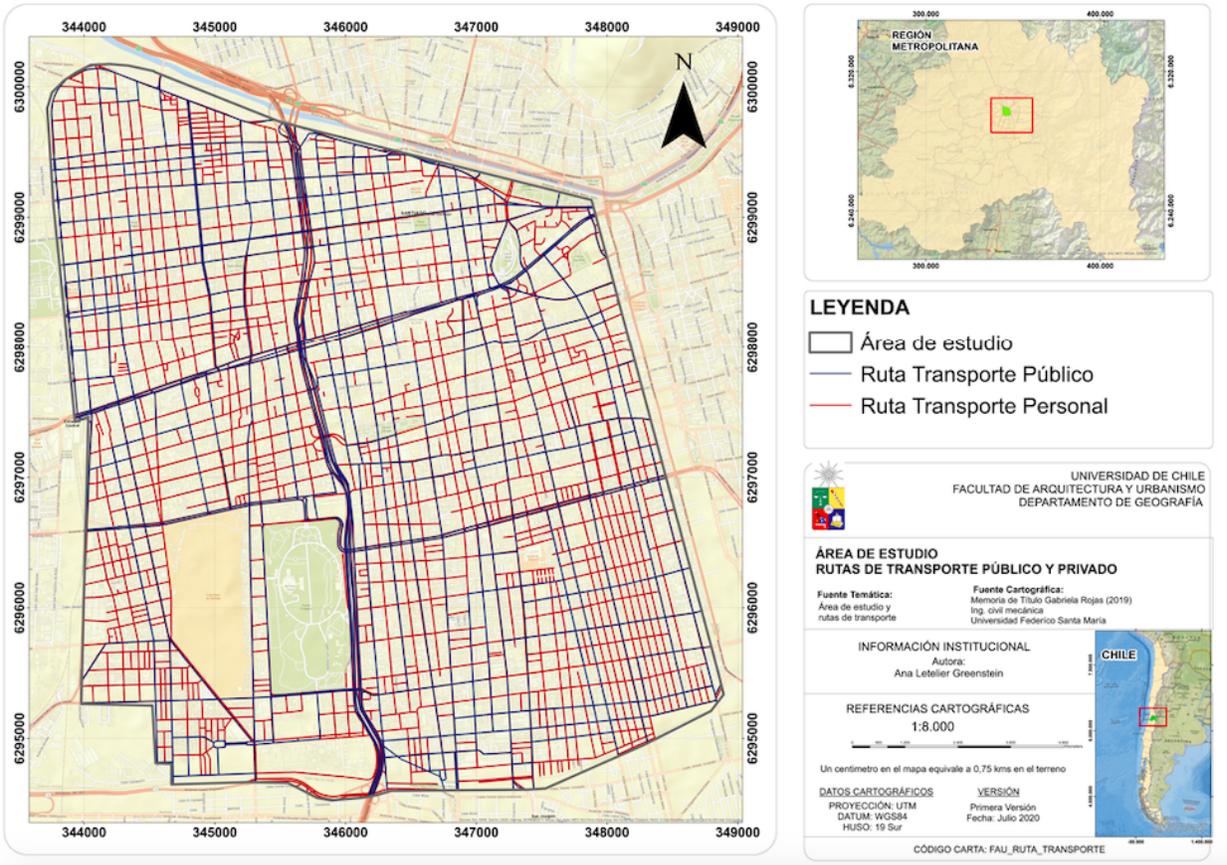
Fuente: Elaboración propia a partir de Gobierno Regional Metropolitana (2019), 2020

Anexo N°3: Densidad poblacional, Santiago Centro



Fuente: Elaboración propia a partir de CENSO(2017), 2020

Anexo N°4: Calor emitido del transporte público y privado, Santiago Centro



Fuente: Elaboración propia a partir de Rojas(2019), 2020