



UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Pregrado
Carrera de Geografía

**OBSERVATORIO DE BIENESTAR AMBIENTAL DEL ÁREA
METROPOLITANA DE SANTIAGO PARA EL PERIODO
2016-2021**

En función de la temperatura y el vigor vegetacional

Memoria para optar al título profesional de Geógrafa

ISIDORA CONSTANZA SCHILLER PINAR

Profesor Guía: Pablo Sarricolea

Santiago - Chile

2022

A la memoria de
Patricio Concha Salazar

*“Dicen las estrellas que los
fugaces somos nosotros...”*

AGRADECIMIENTOS

Siempre pensé que esta iba a ser la primera parte que iba a escribir de mi memoria, porque tengo a la gente que quiero tan cerca y tan presente, que honestamente todos los días me siento agradecida por su presencia, y aunque no fue lo primero que escribí, me alegra tener este espacio de papel para dedicarles unas palabras.

En primer lugar, agradecer a mi mamá, Pini si no fuera por ti yo no estaría aquí, en ningún sentido de la palabra, gracias por traerme el mundo y por acompañarme de la mano, paso a paso, pero siempre dándome el espacio para ser quien y como quiera ser. Gracias por entregarme tus valores y por mostrarme el mundo desde todas partes, desde todas las perspectivas, por enseñarme la empatía y el altruismo, gracias por todas las vidas que has salvado, tienes un ejército de perritos cuidándote desde todos lados. Te amo mamá. A mi Memé, por ser mi segunda mamá, por regalarme como nadie nunca lo ha hecho, por llevarme desayuno a la cama, calentarme la ropa en la estufa y llevarme vasitos de agua cuando era chica, gracias por malcriarme, acompañarme y ser la mejor abuela del mundo. Gracias al resto de mi familia, a los que han estado desde siempre y sé que siempre estarán aquí, Perla, Vane, Alexis, Chepa, Amanda, Sergio, Pascual, Benja, Sol, Luis y Julio, los quiero y les agradezco siempre.

En segundo lugar, me gustaría agradecerles a mis amigos y amigas, a los de siempre, a los que han llegado después, a los que, a pesar del tiempo y la distancia, los lazos se mantienen intactos, gracias. A las K, por la compañía y los buenos momentos, por las risas y aprendizajes, por siempre dejarme ser yo misma y darnos esos espacios tan bonitos de hablarnos sin juzgarnos, son bacanes y se merecen lo mejor. A la Ana por ser mi compañera de todos los trabajos, mi panita de vida, la que me dio mi primera pega de geógrafa y la mejor roomie, porque la mejor roomie no siempre es la más ordenada, pero si lo es la que se da cuenta cuando estás mal, que te ofrece un guatero cuando lo necesitas, la que te da remedios y te cocina si es que estás enferma y así tantas cosas más. Gracias por tu compañía incondicional, por todas las veces que me has hecho reír a carcajadas y por todas las veces que me has invitado a comer, pero sobre todo gracias porque sin tu apoyo y confianza no se si habría logrado terminar este proceso. A la Cata, por ser la mejor compañera incluso de los momentos de silencio, porque sabe exactamente cuando uno necesita una palabra, o cuando simplemente necesita un abrazo aunque no le gusten mucho, por su eterna y buena disposición a ayudar, como pueda y dando siempre lo mejor de sí, tu empatía te va a llevar muy lejos amiga, gracias por las videollamadas eternas en pandemia, por ser mi compañera de proyectos culinarios y mi nueva mejor roomie, gracias por los tecitos y por siempre confiar en mí y decirme que puedo incluso cuando yo creo que ya no doy más. Gracias, y no solo a ustedes, sino que a sus familias por recibirme como una más.

No puedo dejar de mencionar y agradecerle las eternas alegrías a mi querido Rayo Vayacaño, ha sido un honor ser parte de su barra, porque cada partido se me llenaba el corazón de felicidad y orgullo de verlos jugar, gracias por los buenos momentos, estarán siempre conmigo. Gracias 5to medio por ser la mejor generación de la geografía, agradezco a la vida por haber juntado nuestros caminos.

Gracias a todos los profesores de geografía por los conocimientos entregados y por la bonita relación que muchos generaron con nuestra generación. En especial agradecerle a mi profesor guía, Pablo Sarricolea, que si no hubiese sido por el que me sacó del hoyo del que estaba con respecto a mi memoria, realmente no se si habría logrado sacar este proyecto adelante. Gracias por las ideas, la paciencia y todos los conocimientos de SIG.

Quiero agradecerle al Tomi, mi pewito compañero, por acompañarme y no irse nunca de mi lado en uno de los momentos más difíciles de mi vida. Gracias Tomi por aparecer en el cruce Colón, la gente que te abandonó no tiene idea lo que se perdió. Agradecerles a todos los perritos que han pasado por mi vida, a todos los rescatados que me han mirado con su carita de agradecimiento y eterno cariño, se merecen todos lo mejor y sueño con un mundo donde no haya abandono animal.

Gracias a Gerardo por ser el mejor compañero que podría haber encontrado, no sabes cómo agradezco cada día el respeto, el cariño y la comunicación, gracias por acompañarme en este proceso, gracias por siempre confiar en mí y por hincharme para que me sentara a trabajar. Eres un gran ser humano y te mereces todas las cosas bonitas de la vida, espero poder estar ahí para seguir caminando juntos.

Al Pato, que se le ocurrió emprender rumbo anticipadamente, por ser mucho más que un lazo sanguíneo, porque de verdad siento que nuestras almas conectaban de una forma no terrenal, gracias por enseñarme las constelaciones, por las largas conversaciones, las risas, los chistes internos, los abrazos apretados que tanto extraño y tantas otras cosas más... Te atesoro en cada recuerdo, en cada momento que vivimos juntos, sé que nos volveremos a encontrar. Un abrazo a la otra dimensión.

RESUMEN

La creciente y contante urbanización del planeta ha traído consigo una serie de repercusiones y efectos, gran parte de ellos asociados al cambio climático y el calentamiento de las áreas urbanas en comparación con sus zonas rurales adyacentes. En el caso de Chile, para el año 2021 existe un 88,6% de la población que reside en áreas urbanas (INE, 2021). El aumento de las temperaturas producto de la urbanización genera repercusiones en la calidad de vida de las personas y por ende se buscan formas de mitigar sus efectos, a través de enfoques cómo la planificación sensible al clima y la adaptación al cambio climático.

En función de lo anterior, esta investigación se centra en generar un observatorio ambiental en función de la temperatura y el vigor de la vegetación, para encontrar la relación existente entre ambas variables. Esto se estudió para el Área Metropolitana de Santiago, a través de una metodología cuantitativa utilizando imágenes Landsat 8 para el periodo 2016-2021.

Entre los principales hallazgos de esta memoria se encuentran el calentamiento de las superficies terrestres del área de estudio, la degradación de la vegetación presente en ella y los principales cuatro tipos de correlaciones que existen entre ambas variables, destacando la de tipo cóncava y linear negativa. Además, se destaca la importancia de la elaboración de mapas web que permitan el acceso libre, fácil y dinámico para toda la población.

Palabras clave: crecimiento urbano, temperatura superficial, vigor vegetacional, planificación sensible al clima, relaciones bivariantes locales

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN	10
1.1 Introducción	10
1.2 Planteamiento del problema.....	11
1.3 Objetivos	12
Objetivo General:	12
Objetivos Específicos.....	12
1.4 Justificación del área de estudio	12
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE	15
2.1 Clima urbano.....	15
2.2 Vegetación urbana.....	16
2.3 Planificación sensible al clima	17
CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	19
3.1 Revisión de datos y antecedentes.....	19
3.2 Aplicación de métodos.....	22
3.3 Análisis y resultados.....	24
3.3.1 Temperatura de emisión superficial	24
3.3.2 Vigor vegetacional.....	24
3.3.3 Relaciones bivariantes locales	25
3.3.4. Elaboración de observatorio.....	25
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	26
4.1 Condiciones de temperatura superficial de verano y del vigor de la vegetación en la ciudad de Santiago entre 2016 y 2021.....	26
4.1.1 Temperatura de Emisión superficial 2016.....	26
4.1.2 Temperatura de Emisión superficial 2017.....	28
4.1.3 Temperatura de Emisión Superficial 2018	30
4.1.4 Temperatura de Emisión Superficial 2019	32

4.1.5 Temperatura de Emisión Superficial 2020	34
4.1.6 Temperatura de Emisión Superficial 2021	36
4.1.7 Vigor vegetacional para el año 2016	40
4.1.8 Vigor vegetacional para el año 2021	42
4.2 Relación entre temperatura y vigor de la vegetación en el Área Metropolitana de Santiago.....	44
4.3 Observatorio de bienestar ambiental	47
CAPÍTULO 5: DISCUSIONES Y CONCLUSIONES	48
BIBLIOGRAFÍA	50

ÍNDICE DE FIGURAS Y CUADROS

Figura N° 1 Área de estudio.....	13
Figura N° 2 Nivel Socioeconómico del Área Metropolitana de Santiago el año 2017	14
Figura N° 3 Filtro de nubes y sombras	20
Figura N° 4 Extracción de imágenes satelitales	20
Figura N° 5 Cálculo de NDVI.....	21
Figura N° 6 Cálculo de emisividad	21
Figura N° 7 Transformación de grados Kelvin a grados Celsius	22
Figura N° 8 Parámetros cálculo RBL	24
Figura N° 9 Temperatura de Emisión Superficial el Área Metropolitana de Santiago por manzana año 2016	27
Figura N° 10 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por zona censal año 2016.....	28
Figura N° 11 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por manzana año 2017	29
Figura N° 12 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por zona censal año 2017	30
Figura N° 13 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por manzana año 2018	31
Figura N° 14 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por zona censal año 2018	32
Figura N° 15 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por manzana año 2019	33
Figura N° 16 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por zona censal año 2019	34
Figura N° 17 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por manzana año 2020	35
Figura N° 18 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por zona censal año 2020	36
Figura N° 19 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por manzana año 2021	37

Figura N° 20 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por zona censal año 2021	38
Figura N° 21 Promedio de Temperatura de Emisión Superficial desde el año 2016 al 2021 por manzana	39
Figura N° 22 Tipo de variación de temperatura del año 2016 al 2021	40
Figura N° 23 Vigor Vegetacional para el Área Metropolitana de Santiago por manzana año 2016 ...	41
Figura N° 24 Vigor Vegetacional para el Área Metropolitana de Santiago por zona censal año 2016	42
Figura N° 25 Vigor Vegetacional para el Área Metropolitana de Santiago por manzana año 2021 ...	43
Figura N° 26 Vigor Vegetacional para el Área Metropolitana de Santiago por manzana año 2021 ...	44
Figura N° 27 Relaciones bivariantes locales entre Temperatura de Emisión Superficial y Vigor Vegetacional por manzanas año 2016.....	45
Figura N° 28 Relaciones bivariantes locales entre Temperatura de Emisión Superficial.....	46

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

1.1 Introducción

Luego de la revolución industrial y la segunda guerra mundial las ciudades han crecido de forma exponencial, aumentando tanto la cantidad de personas que habita en ellas como la superficie que ocupan estas dentro del territorio en el cual se insertan. Para el año 2018, alrededor de un 55% de la población mundial habitaba en zonas urbanas, estimándose que para el 2050 este porcentaje podría aumentar en un 13% llegando a representar un 68% de la población mundial (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, 2018).

Este rápido crecimiento urbano ha significado la modificación de los paisajes y ecosistemas donde las ciudades se localizan, siendo importantes factores en este cambio la configuración local del relieve, la estructura, urbana y la diversidad de usos de suelos, permitiendo que haya diferentes espacios climáticos dentro de una misma urbe (Cuadrat, Vicente-Serrano, & Saz, 2005, Smith y Henríquez, 2021). Según Fernández & Martilli (2012), la ciudad es la forma más radical en la cual el paisaje puede ser modificado, esto ya que no solo genera cambios a nivel morfológico, sino que también en las condiciones ambientales y climáticas del territorio en el cual se encuentra.

El estudio del clima en las ciudades se da de por sí, por primera vez, a principios del siglo XIX por parte de Luke Howard quien estudió las condiciones climáticas de Londres, logrando comprobar el aumento de la temperatura en las áreas urbanizadas en comparación a las áreas rurales cercanas (Howard, 1833). De esta forma y a través de investigación sistemática del clima de las ciudades a partir de la segunda mitad del siglo XX, es que se consolida el estudio del fenómeno, convirtiéndose en uno de los tópicos más importantes y estudiados las conocidas islas de calor urbano. Las islas de calor se definen por la diferencia de temperatura que existe entre los espacios urbanos con una alta densidad de ocupación y construcción y la periferia rural (Córdova, 2011).

Las islas de calor se encuentran condicionadas por distintos factores que influyen directamente sobre la intensidad de ellas. Uno de estos factores y uno de los que pueden ser más importantes a la hora de mitigar los efectos de ésta, es la vegetación presente y/o disposición de áreas verdes, donde según Salas & Herrera (2017), las áreas verdes constituyen una de las mejores medidas que permiten revertir los efectos de las ICU, ya que debido a sus distintas funciones tanto físicas como químicas y morfológicas afectan el clima local generando cambios tanto a nivel de uso de energías, de confort térmico humano y calidad del aire, es decir, que si ocurre una adecuada planificación, diseño y manejo de la vegetación urbana, esta puede cumplir un importante rol a la hora de mejorar el medio físico urbano (Nowak, Dwyer, & Childs, 1997).

Es por esta razón que en la presente investigación busca comprender las condiciones de temperatura de emisión superficial del Área Metropolitana de Santiago, así como su distribución en el territorio y las condiciones de vigor de su vegetación, con el fin de poder establecer la relación existente entre ambas variables y exponerla de manera simple, atractiva,

dinámica, interactiva y de libre acceso. En ese sentido, hay investigaciones que han indagado usando Landsat y Modis algunas relaciones, pero en este caso se busca avanzar en la línea de series temporales y con ello generar información abierta y de libre consulta.

1.2 Planteamiento del problema

En América Latina los porcentajes de urbanización son aún más altos que los promedios mundiales, ya que las áreas urbanas en dicho territorio representan alrededor del 80% (ONU, 2012). Para el caso de Chile la situación no es muy distinta, al año 2021 existe un 88,6% de la población que reside en áreas urbanas (INE, 2021).

La constante urbanización, tanto hacia las zonas periféricas como en altura, trae consigo importantes repercusiones ambientales que afectan a la propia ciudad. La falta de planificación de este crecimiento, en función de las necesidades del mercado, acrecienta las problemáticas asociadas a ella.

Uno de los problemas más importantes que presentan las ciudades es el aumento de las temperaturas y, por ende, la disminución de la calidad de vida de las personas que en ellas habitan. Según Montes (2019) en una noticia publicada por el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia ((CR)²), la temperatura de Santiago ha aumentado en casi 2°C en el último siglo y nueve de los diez años más cálidos están registrados en el siglo XXI. El alza general de la temperatura, tanto de las temperaturas mínimas como de las máximas, tiene su origen en distintos y variados factores asociados tanto a factores antrópicos como naturales, sin embargo, una de las razones más importantes que destaca a lo largo de la bibliografía es la sustitución de cubiertas vegetacionales por cubiertas urbanas. Considerando la rapidez con la cual avanza la urbanización, es relevante tener en consideración la mitigación que puede obtenerse a partir de las políticas públicas y la planificación sensible al clima y con enfoque en el cambio climático.

En este sentido y según lo planteado por la bibliografía, una importante medida de mitigación del aumento de las temperaturas es el aumento de la cantidad de áreas verdes y la calidad de estas. De esta forma resulta interesante comprender cómo se relacionan a escala de manzanas la temperatura superficial de la ciudad con la presencia y condición de la vegetación, además de poder comprender la relación sociodemográfica que influyen en la disposición de áreas verdes en el Gran Santiago, para así poder generar insumos importantes de información pública y comprensible que permitan una planificación sensible al clima para la ciudad de Santiago. Bajo esta necesidad es que nace la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la relación existente entre la temperatura superficial y el vigor vegetal en el Área Metropolitana de Santiago entre los años 2016 y 2021?

1.3 Objetivos

Objetivo General:

Implementar un observatorio de bienestar ambiental de la Área Metropolitana de Santiago en función de la relación entre temperatura superficial y el vigor vegetacional para el periodo 2016-2021

Objetivos Específicos

1. Establecer las condiciones de temperatura superficial y del vigor de la vegetación en el Área Metropolitana de Santiago entre 2016 y 2021
2. Identificar la relación existente entre temperatura y vigor de la vegetación en el Área Metropolitana de Santiago
3. Generar un visor de la información obtenida a través de un mapa web

1.4 Justificación del área de estudio

La región metropolitana es la cuna de la capital y ciudad más grande y poblada del país, concentrando además las actividades administrativas, políticas, económicas, industriales, comerciales y culturales. “El último censo de 2017 indica que en la Región Metropolitana de Santiago viven 7.112.808 habitantes. Con 52 comunas la Región Metropolitana cuenta con una mayoría de zonas urbanas, de hecho, sólo 18 son rurales” (GORE, 2022).

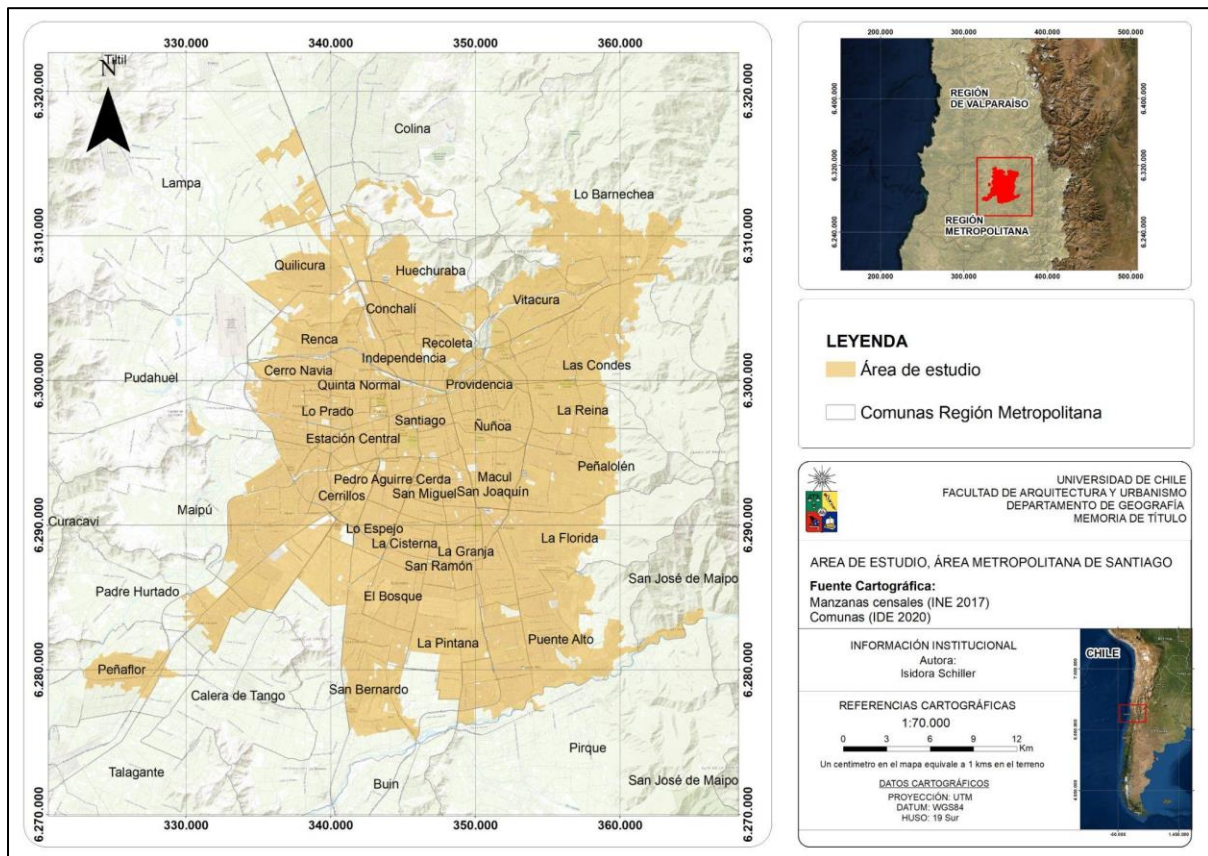
Para efectos de esta investigación se ha decidido trabajar con el Área metropolitana de Santiago (AMS), es decir, con la zona urbana y densamente poblada ya que permite llevar a cabo un análisis más preciso en cuanto a lo que se requiere comprender. Considerando que se desea entender la relación entre la temperatura superficial y el vigor vegetacional, el área metropolitana resulta ser un buen ejemplo de las posibles variaciones que existan a nivel de manzana según la condición vegetacional.

El clima de la región metropolitana se clasifica dentro del clima templado mediterráneo, perteneciendo principalmente a las categorías Csa y Csb según la clasificación de Köppen aplicada por Sarricolea, Herrera-Ossandón & Meseguer-Ruz (2017).

Chile se caracteriza por ser un país altamente centralizado razón por la cual la capital concentra cerca del 40% de la población, lo que acrecienta la necesidad del estudio del clima en la ciudad con el fin de poder planificar la ciudad y tomar decisiones en cuanto a gestión y políticas públicas.

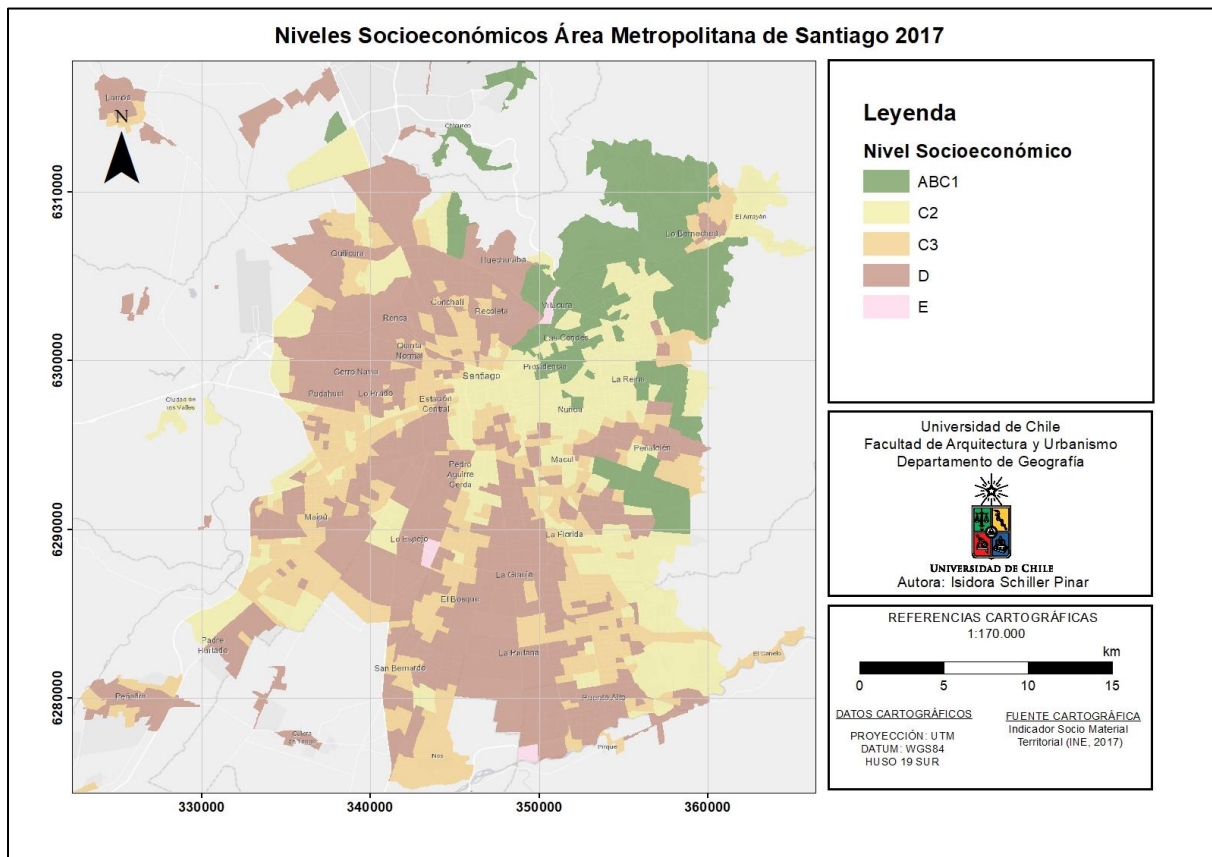
A continuación, se presenta una cartografía que muestra el área de estudio en cuestión (ver Figura N° 1).

Figura N° 1 Área de estudio



En la Figura N° 2 se presenta el área de estudio según sus niveles socioeconómicos, donde se aprecia que las áreas con niveles socioeconómicos más altos (ABC1 y C2) se encuentran concentrados hacia la zona nororiente del Área Metropolitana de Santiago. Por otro lado, se observa que el nivel predominante es D, seguido por el C2 y C3. Los niveles más bajos se ubican principalmente hacia la zona poniente de la ciudad, donde destaca el nivel D y C3 principalmente. Es importante tener en cuenta la distribución de la población según sus características socioeconómicas ya que esto permite comprender mejor el resto de las variables a analizar en el desarrollo de esta memoria.

Figura N° 2 Nivel Socioeconómico del Área Metropolitana de Santiago el año 2017



CAPITULO 2: ESTADO DEL ARTE

2.1 Clima urbano

Las ciudades son de por sí sistemas dinámicos con una gran influencia en el medio en el cual se insertan, logrando incluso, tal como se ha visto en muchas investigaciones, ser capaces de generar condiciones climáticas propias distintas a sectores rurales aledaños. La ciudad, es en el fondo la forma más radical en la cual el paisaje puede ser modificado, esto ya que no solo genera cambios a nivel morfológico, sino que también en las condiciones ambientales y climáticas del territorio en el cual se inserta (Fernández & Martilli, 2012)

Gran parte de los estudios del clima urbano se han centrado en estudiar la diferencia de temperatura que existe entre el área urbana y el área rural adyacente, donde en el centro de estas se registran temperaturas sensiblemente superiores a las del medio natural donde se encuentran localizadas (Pérez, García, & Guerra, 2003) siendo entonces uno de los tópicos más importantes el estudio de las islas de calor.

Los primeros estudios del clima urbano se centraron en la génesis y caracterización de la isla de calor, pero desde la segunda mitad del siglo pasado se han desarrollado otro tipo de estudios tendentes a evaluar sus impactos sobre la salud y el confort de los habitantes de las ciudades, así como en las estrategias para disminuir tales impactos (Fernández & Martilli, 2012)

Según los hallazgos de Cuadrat, Vicente-Serrano & Saz (2005), el clima de las ciudades presenta diferencias notables de acuerdo a los factores geográfico-urbanos y meteorológicos que los presenta, donde la topografía es uno de los factores más influyentes en cuanto a la determinación de las temperaturas de la ciudades así como la distancia a los cuerpos de agua y la presencia de áreas verdes, donde más allá del tipo o la condición de estas, las temperaturas en ellas son más bajas que en las áreas edificadas. Del mismo modo la estructura urbana también posee relevancia junto con la reflectividad de los materiales. (Cuadrat et al., 2005)

Las ciudades han adquirido una importante relevancia en la actualidad debido a la gran cantidad de población que albergan. Si bien estas no ocupan un porcentaje tan elevado del territorio, si concentran el 55% de la población del planeta, condición que seguirá aumentando, donde se espera que para el 2050 7 de cada 10 personas vivan en áreas urbanas (Banco Mundial, 2020), esto significa que las condiciones que se generan dentro de las ciudades tienen un grado de impacto significativo sobre la vida de muchas personas. Las ciudades tienen la capacidad de transformar y modificar el espacio natural donde se asientan y es por esto que se dice que las ciudades son en gran parte generadoras de condiciones particulares propias en cuanto a lo ambiental y lo climático (Cuadrat et al., 2005). Según la CEPAL más del 50% de la población total del planeta vive ya en áreas urbanas, y se estima que ese porcentaje será del 75% antes del 2050 (ONU-Hábitat, 2011b).

Dentro de las principales modificaciones que generan las ciudades en cuanto al clima del lugar en que se asientan, es el incremento de la temperatura del aire y por ende la aparición del fenómeno denominado isla de calor o isla térmica (ICU), donde es posible contrastar la

diferencia que existe entre la temperatura del centro de la urbe con las zonas rurales adyacentes, generando de esta forma un microclima el cual se caracteriza por presentar temperaturas sensiblemente superiores en el centro de las ciudades en comparación con el medio natural que las rodea (Pérez González et al., 2003). Según lo expuesto por Fernandez & Martilli, dentro del fenómeno de la isla de calor, es posible distinguir dos tipos, la isla de calor atmosférica y la isla de calor superficial, donde la primera representa la diferencia que existe entre la temperatura del aire de la ciudad y de las zonas rurales circundantes. Por otra parte, la segunda, representa la diferencia entre la temperatura de las superficies artificiales versus las superficies naturales.

El fenómeno de la ICU se encuentra determinada por una serie de factores descritos ampliamente en las investigaciones asociadas a ella, los cuales tienen distintos niveles de influencia afectando positiva o negativamente en su composición y comportamiento. Algunos de los factores que más se repiten en la bibliografía de acuerdo a la investigación y recopilación llevada a cabo por Tzavali, Paravantis, Mihalakakou, Fotiadi, & Stigka (2015) son: el uso del suelo, la geometría urbana, la urbanización, el albedo superficial y las superficies impermeables presentes, la intensidad del tráfico, la contaminación del aire y la vegetación.

Según Sarricolea & Romero (2010) *“las correlaciones entre productividad vegetal (representada por NDVI) y distribución de temperaturas superficiales, son negativas en verano (a mayor vegetación menor temperatura) y positivas en invierno, lo que ha sido igualmente observado por Yuan y Bauer (2007); Peña y Romero (2006); Peña (2008); Romero y Sarricolea (2006); Sarricolea et al. (2008) y Sarricolea (2008), entre otros”*. Esta tendencia permite explicar la importancia de la vegetación sobre el clima de las urbes.

2.2 Vegetación urbana

La vegetación presente en las ciudades y el efecto que ella tiene sobre el microclima generado en ellas es un tema ampliamente estudiado por la academia donde se han visto una serie de efectos dependiendo de las condiciones y el vigor de las áreas verdes presentes. Por ejemplo, la vegetación presente en la ciudad es capaz de alterar el microclima a través de una disminución de la temperatura, también son capaces de disminuir la temperatura del aire, además de otorgar sombra y reducir el calentamiento de las superficies debido a la exposición a la radiación solar (Jin et al., 2018; Lindén et al., 2016; Martini et al., 2017 en Flores-De la O. et al., 2018)

Las plantas en la ciudad son capaces de absorber la lluvia que escurre sobre las superficies impermeables de la ciudad, también reduce la contaminación presente en el aire (Galindo-Bianconi & Victoria-Uribe, 2012), así como *“tienen la capacidad de absorber energía radiante a través de la transpiración, por lo cual, el área donde se encuentran es más fría y húmeda que sus alrededores”* (Barradas, 2013). Según el mismo autor, se logró demostrar que, dependiendo del tamaño y la composición de las áreas verdes, los parques pueden reducir hasta en 5°C la temperatura del aire, llegando a una extensión máxima del en que la reducción de la temperatura se hace mínima al continuar aumentando. Esto es sumamente relevante de comprender ya que entrega lineamientos en cuanto a la importancia de planificar la ciudad para

optimizar los beneficios obtenidos de dichas áreas. En relación con lo planteado, entonces es esencial conocer el clima de la ciudad y ejecutar una correcta planificación de la estructura y diseño del parque, de las especies que se van a utilizar y cómo se distribuirán en él, así como la frecuencia del riego, ya que todos estos factores influyen en el impacto que la vegetación puede tener sobre la temperatura del área (Salas & Herrera, 2017).

Según Sarricolea et al, (2008) la presencia vegetal y el desarrollo de esta tiene un importante impacto en la reducción de las temperaturas de la ciudad, por ende, siendo de suma importancia la presencia de parques urbanos, así como también la composición de esta vegetación urbana, donde la vegetación perenne tendría un impacto continuado a lo largo de todo el año. Según Martini et al. (2017) para maximizar los beneficios obtenidos a partir de las áreas verdes, es preciso comprender que lo más óptimo es áreas vegetacionales no tan extensas, pero bien distribuidas a lo largo de los espacios urbanos y que estas contengan una importante densidad arbórea en ellas.

2.3 Planificación sensible al clima

Según la CEPAL (2012) el 80% de la población de Latinoamérica reside en áreas urbanas, razón por la cual serán de las zonas más afectadas por los efectos del cambio climático. En función de lo anterior, para evitar los efectos de este en las distintas regiones del país, es necesario invertir recursos en temas asociados a adaptación y mitigación del cambio climático en las distintas escalas posibles. Las ciudades poseen un alto impacto en los climas locales y a su vez son las que más se ven afectadas por los efectos del cambio climático, afectando a un número importante de personas.

Es por esta razón que uno de los objetivos principales de los estudios y planes de acción de los últimos años se han centrado en la adaptación al cambio climático y la planificación sensible al clima, siendo este segundo tema bastante más reciente en la investigación.

En cuanto a la adaptación al cambio climático, el IPCC se refiere a la adaptación como todas las acciones en respuesta a efectos actuales o esperados asociados al cambio climático o a sus impactos, y que de alguna u otra forma traigan un cambio de un sistema natural o humano y que a través de ellos se pueda suavizar el daño o aprovechar ciertas oportunidades asociadas (IPCC 2007 citado en Barton 2009).

La adaptación puede traer beneficios en cuanto al abordaje de riesgos actuales como en relación a riesgos futuros. Sin embargo, su efectividad se encuentra limitada en función de las tasas de cambio del clima, razón por la cual las estrategias deben abordarse con perspectiva a largo plazo (IPCC, 2014). La adaptación toma vital importancia ya que puede contribuir de forma significativa al bienestar de las poblaciones, a la seguridad de activos y el mantenimiento de los bienes, funciones y servicios de los ecosistemas ahora y en el futuro (IPCC, 2014).

Muy ligado al tópico anterior se encuentra la planificación sensible al clima, tema que se ha vuelto de sumo interés para muchos investigadores asociados al cambio climático con el fin de poder optimizar las medidas de adaptación y aprovechar las oportunidades en función de

mejorar la calidad de vida de las personas y comunidades. Históricamente uno de los grandes problemas en las ciudades, es que estas se han planificado enfocadas en las características estético-formales, sin realmente tener en consideración los efectos y los impactos del clima sobre ella (Chicas, 2012 citado en Moya, 2020). Es decir, el confort térmico de quienes habitan la ciudad ha sido un tema que se ha dejado de lado, adquiriendo relevancia con la llegada de este tópico al área de la climatología urbana.

El concepto de planificación sensible al clima fue por primera vez usado como tal en Oke, Mills, Christen, & Voogt, (2017), donde principalmente se aborda desde la importancia del contexto político y las políticas públicas, la relevancia de la evaluación climática, los principios guía y los distintos diseños de las intervenciones dependiendo de la escala a trabajar.

La planificación sensible al clima busca aprovechar tanto las oportunidades como las restricciones de clima en la ciudad, con el fin de que las condiciones de confort de las personas que viven en ella puedan ser mejoradas y que las ciudades en sí puedan ser más vivibles (Kaya & Mengi, 2011). De la misma manera, otros autores concuerdan en que el principal objetivo de la planificación sensible al clima es otorgar confort a las personas cuando se encuentran en el exterior (Ebrahimabadi, S., Johansson, C., Nilsson, K.L., 2012 citado en Dursun & Yavas, 2015), aunque el confort climático tanto del exterior como del interior es posible regularlo y gestionarlo a través del diseño de políticas sensibles al clima (Kaya & Mengi, 2011).

El estudio de este tópico adquiere suma importancia debido a que la comprensión y el conocimiento de los efectos del clima urbano permite poder planificar nuevos asentamientos que sean sensibles al clima, así como también abordar las problemáticas y conflictos que presentan los asentamientos ya existentes y poder así minimizar los efectos adversos de estos. Es importante tener en cuenta que debido a que las distintas ciudades tienen muy diversas localizaciones, el diseño sensible al clima proporciona principios fundamentales específicos para los distintos climas, en función de las necesidades térmicas particulares de cada una de ellas (Kaya & Mengi, 2011).

Una razón principal para estudiar los efectos del clima urbano es aplicar el conocimiento adquirido para planificar nuevos asentamientos que sean sensibles al clima o para abordar los problemas climáticos en los asentamientos existentes (Oke et, al., 2017). Según Dursun & Yavas (2015), lograr un diseño sensible al clima requiere la comprensión de las condiciones climáticas y de la estructura existente de los elementos de diseño urbano, lo que permite realizar recomendaciones en torno a los planes de desarrollo para así poder reducir los impactos del clima sobre los habitantes.

CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

La presente investigación se desarrolla principalmente de acuerdo con una metodología del tipo cuantitativa, ya que tanto la información acerca de la temperatura superficial de la ciudad de Santiago cómo del vigor de la vegetación, se basan en información, cálculos y análisis de tipo cuantitativo. El análisis de la relación existente entre la temperatura y el vigor vegetacional, también se explica en términos cuantitativos.

3.1 Revisión de datos y antecedentes

En primer lugar, para llevar a cabo la presente investigación se llevó a cabo una recopilación de datos a través de fuentes como el Observatorio de Ciudades de la Universidad Católica, el INE, del Indicador de Bienestar Territorial de la Universidad Adolfo Ibáñez, entre otros. A través de esto se pudo obtener información y una imagen general de la realidad de la ciudad de Santiago en cuanto tanto a características demográficas, a indicadores territoriales, infraestructura, uso de suelo, así como de las zonas climáticas de la ciudad, entre otros. Con esta información se obtuvo un contexto de la condición del área de estudio para así tener un marco en la información trabajada en esta memoria.

Además, se realizó una extensa revisión bibliográfica asociadas a temáticas de clima urbano para de esta manera poder otorgarle un contexto teórico a la presente investigación para así contextualizar los principales conceptos en los cuales se enmarca la memoria de título.

Para la obtención de las imágenes satelitales se realizó a través de la plataforma Google Earth Engine (GEE), la cual a través de la programación de distintos códigos permite obtener información relevante de una gran variedad de satélites. Para el desarrollo de esta investigación se decidió trabajar con datos de verano diurno, con el fin de analizar el impacto de la vegetación en la temperatura de los meses de verano. En este caso se obtuvo a través de un mismo código una imagen satelital para la temperatura superficial del verano de cada año a analizar, tomando el promedio de los meses de verano, es decir, diciembre, enero y febrero, además del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada del año 2016 y 2021.

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para el año de inicio y el año de término de esta investigación, permitió entender y analizar el vigor y estado de la vegetación en el territorio estudiado, para de esta forma poder comparar la evolución que existe en esta desde la fecha de inicio y término de esta memoria. Lo anterior con el fin de poder evaluar cambios en la condición de esta.

El código utilizado permitió obtener imágenes procedentes del satélite Landsat 8, el cual cuenta con una resolución espacial de 30 metros. Debido a que el análisis presentado en esta memoria busca comprender el impacto de la vegetación saludable en la temperatura superficial de la ciudad, es que se determinó como escala de trabajo la manzana censal para así obtener un análisis lo más detallado posible. Fue debido a aquello que se eligió trabajar con el satélite mencionado anteriormente debido a su buena resolución espacial.

A continuación, se procede a explicar el código utilizado en GEE a través de imágenes extraídas de la codificación para facilitar el proceso. Tal como se puede ver en la Figura N° 3, en primer lugar, se aplicó un filtro para minimizar el impacto de las nubes y las sombras de las nubes en los cálculos realizados en la imagen satelital.

Figura N° 3 Filtro de nubes y sombras

```
//cloud mask
function maskL8sr(image) {
  /// Bits 3 and 5 are cloud shadow and cloud, respectively.
  var cloudShadowBitMask = (1 << 3);
  var cloudsBitMask = (1 << 5);
  // Get the pixel QA band.
  var qa = image.select('pixel_qa');
  // Both flags should be set to zero, indicating clear conditions.
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudShadowBitMask).eq(0)
    .and(qa.bitwiseAnd(cloudsBitMask).eq(0));
  return image.updateMask(mask);
}
```

Para la adquisición de las imágenes, como primer paso se procedió a seleccionar la colección de imágenes de Landsat 8, satélite del cual se extrajeron las imágenes. A continuación, fue necesario seleccionar los rangos de fechas entre los cuales se sacarían las imágenes, para lo cual se seleccionaron los tres meses de verano, es decir, diciembre, enero y febrero. De la misma forma se aplicó un filtro de área de estudio para seleccionar el área de interés de la cual se necesitaba la información. Por último y ya que se seleccionó por completo el periodo de verano, se estableció trabajar estadísticamente para obtener una imagen única con el cálculo de la mediana. Se seleccionó en particular este método estadístico ya que permite minimizar la influencia que puedan tener los datos extremos sobre el resultado final (ver *Figura N° 4*)

Figura N° 4 Extracción de imágenes satelitales

```
//load the collection:
{
  var col = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')
    .map(maskL8sr)
    .filterDate('2020-12-01', '2021-02-28')
    .filterBounds(geometry);
}
print(col, 'coleccion');

//median imagen de la mediana
{
  var image = col.median().clip(geometry);
  print(image, 'image');
  Map.addLayer(image, vizParams2);
}
```

A continuación, se calculó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada el cual permitió conocer el estado y vigor de la vegetación en el área de estudio. Este cálculo se llevó a cabo a través de la siguiente fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR}-\text{Red}) / (\text{NIR}+\text{Red})$$

Donde NIR es la luz del infrarrojo cercano y Rojo es luz roja visible. Además, se establecieron los parámetros de máximo y mínimo para la determinación del índice (ver *Figura N° 5*)

Figura N° 5 Cálculo de NDVI

```
// NDVI:
{
var ndvi = image.normalizedDifference(['B5', 'B4']).rename('NDVI');
var ndviParams = {min: -1, max: 1, palette: ['blue', 'white', 'green']};
print(ndvi, 'ndvi');
Map.addLayer(ndvi, ndviParams, 'ndvi');
```

Posteriormente se procedió a calcular la emisividad, dato que es necesario para poder obtener la temperatura superficial de un área. La emisividad hace referencia a la capacidad que tiene un objeto de emitir radiación a una cierta temperatura en comparación con un emisor perfecto, es decir, un cuerpo negro, a la misma temperatura y en las mismas condiciones (ver *Figura N° 6*)

Figura N° 6 Cálculo de emisividad

```
//Emissivity

var a= ee.Number(0.004);
var b= ee.Number(0.986);
var EM=fv.multiply(a).add(b).rename('EMM');
```

Por último, se procedió a calcular la temperatura superficial con los datos obtenidos anteriormente a través de la siguiente ecuación llevada a cabo por GEE

$$T_S = LST = \frac{T_B}{1 + \left(\lambda \times \frac{T_B}{\rho} \right) \ln \varepsilon}$$

T_S es la temperatura de brillo

λ es la longitud de onda de la radiancia emitida en cada banda.

$\rho = h \cdot c / \sigma = 14380 \text{ m K}$.

σ es la constante de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$).

h es la constante de Planck ($6,26 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$).

c es la velocidad de la luz ($2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$).

ε es la emisividad

(Fernández Sarría, 2018)

Dentro del cálculo hecho en GEE que se muestra a continuación, se transformó la temperatura de grados Kelvin a grados Celsius. En la siguiente figura se detalla el cálculo hecho en la plataforma (ver *Figura N° 7*)

Figura N° 7 Transformación de grados Kelvin a grados Celsius

```
var imageVisParam2 = {min: 0.98, max: 0.99, palette: ['blue', 'white', 'green']};
Map.addLayer(EM, imageVisParam2, 'EMM');

var LST = thermal.expression(
  '(Tb/(1 + (0.001145* (Tb / 1.438))*log(Ep)))-273.15', {
    'Tb': thermal.select('B10'),
    'Ep': EM.select('EMM')
  })
```

Una vez completado todo el código, se procedió a exportar las imágenes obtenidas, tanto las de LST con las de NDVI en formato Geotiff a una carpeta en drive para posteriormente poder ser descargadas y procesadas.

Por último, como base para el trabajo a nivel de manzana censal se obtuvo un shapefile del área de estudio del Observatorio de Ciudades de la Universidad Católica de Chile. Se eligió usar este shapefile debido a que ya contaba con una base de datos bastante completa la cual contenía la temperatura superficial calculada por el Observatorio para años anteriores al estudiado en el trabajo de esta memoria. Lo anterior facilitó la integración de los datos para su posterior procesamiento y análisis. Este shapefile además contaba con la delimitación de manzanas de la ciudad que coincide con la delimitación CENSO 2017 y fue usada para poder llevar la temperatura de las imágenes satelitales obtenidas a dicha escala.

Debido a que la manzana censal solamente representa manzanas que cuentan con edificaciones, pero dejan fuera las calles, plazas y parques, entre otros, fue necesario otorgarle un contexto territorial más grande a estas manzanas con el fin de poder integrar las áreas excluidas que son principalmente las que cuentan con las áreas verdes de la ciudad. Fue en función de lo anterior que se decidió repetir el proceso llevado a cabo con el shapefile en una nueva escala, tomando la zona censal, de esta manera se pudo obtener la temperatura superficial y el NDVI tanto a nivel de manzana como a nivel de zona para poder identificar y comparar los resultados obtenidos en ambas escalas. Para poder completar esto, se obtuvo a través del IDE un shapefile con la delimitación a nivel de zona para así poder obtener la información vectorial en esta escala.

3.2 Aplicación de métodos

Los shapefile obtenidos en la etapa anterior, fueron la base utilizada para poder otorgar la temperatura correspondiente a cada manzana y zona censal. Este proceso se llevó a cabo a través de la herramienta de Zonal Statistic por tabla a través del campo “manzanent”, lo cual otorgó el valor de la temperatura de cada manzana de la ciudad a través del cálculo del promedio de los pixeles presentes en dicha unidad territorial. Del mismo modo, para el caso de

la zona censal, a través del campo “geocode” se logró obtener la temperatura superficial para esa área. El proceso anteriormente descrito, se repitió para cada año de estudio con el fin de contar con la evolución de temperatura en el rango de tiempo estudiado.

Teniendo esta información por cada verano de cada año, se hizo un join de las tablas de datos adquiridas con la tabla de atributos del shapefile original, la cual fue utilizada como base a través del mismo campo “manzanent” para poder hacer el cruce de información. De esta manera se logró unificar todos los datos en un mismo archivo que permitió su análisis de forma más fácil y expedita. El mismo proceso se llevó a cabo con la zona censal a través del campo “geocode”.

Tal como se mencionó en la primera etapa, a través de GEE se obtuvo el NDVI de todos los veranos de la ciudad de Santiago, los cuales para asuntos de esta investigación solamente se utilizaron los del año 2016 y 2021, para así poder hacer una comparación en cuanto al estado de la vegetación del primer y el último año estudiado. Una vez obtenido el NDVI del área de estudio para los años señalados, se hizo un zonal statistic por tabla para obtener este índice a nivel de manzana de la misma forma en la cual se obtuvo la temperatura superficial. Luego de obtenidas las tablas se hizo un join para poder juntar la información de NDVI por manzana al shapefile. El mismo proceso se repitió para obtener el NDVI a nivel de zona censal permitiendo dar un contexto más amplio a la investigación.

Realizado los procesos anteriores e integrados los datos de la misma escala en una misma tabla de atributos, se procedió a calcular las relaciones bivariantes locales (RBL) entre la temperatura superficial y el NDVI a través de la plataforma Arcgis Pro. Este tipo de cálculo estadístico permite *“Analizar las relaciones estadísticamente significativas de dos variables con entropía local. Cada entidad se clasifica en una de seis categorías en función del tipo de relación. La salida se puede utilizar para visualizar áreas con variables relacionadas y para explorar los cambios de su relación en el área de estudio”* (ESRI, 2022).

Las relaciones bivariantes locales permiten *“calcular una estadística de entropía en cada vecindad local que cuantifica la cantidad de información compartida entre ambas variables. A diferencia de otras estadísticas que muchas veces solo pueden capturar relaciones lineales (por ejemplo, regresión lineal), la entropía puede capturar cualquier relación estructural existente entre las dos variables”* (Esri, 2022). Es debido a lo anterior que se elige trabajar con este tipo de relación estadística ya que permite lograr un análisis más completo y acabado de cómo se dan las relaciones entre las variables estudiadas en el territorio.

Para ejecutar la herramienta se debieron seleccionar varios parámetros que permiten otorgar las condiciones bajo las cuales se calculan las correlaciones. A continuación, en la *Figura N° 8* se presentan las condiciones otorgadas para dichos cálculos:

Figura N° 8 Parámetros cálculo RBL

Input Features	Temperatura_sup_2016-2021_v.agosto
Dependent Variable	LST_16
Explanatory Variable	NDVI_16
Output Features	C:\Users\Acer\Documents\Memoria de título julio 2021\ArcGis Memoria\R. Bivariantes Locales\Manzanas\RBL_2016v5.shp
Number of Neighbors	200
Number of Permutations	199
Enable Local Scatterplot Pop-ups	NO_POPUP
Level of Confidence	90%
Apply False Discovery Rate (FDR) Correction	APPLY_FDR
Scaling Factor (Alpha)	0,5

“El número de vecinos alrededor de cada entidad (incluida la entidad) que se utilizará para probar una relación local entre las variables. El número de vecinos debe ser entre 30 y 1000; el valor predeterminado es 30. El valor proporcionado debe ser lo suficientemente alto como para detectar la relación entre entidades, pero lo suficientemente bajo como para seguir identificando patrones locales” (ESRI, 2022). En función de lo anterior y considerando la extensión territorial del área de estudio, así como la especificidad de la escala de trabajo, en el caso de las manzanas se decidió trabajar con un número de vecinos igual a 200 tal como se muestra en la *Figura N° 8*.

En el caso del resto de los parámetros se decidió trabajar con los valores predeterminados, es decir, con 199 permutaciones, con un nivel de confianza de 90%, con la corrección False Discovery Rate y con el factor de escala en 0,5.

3.3 Análisis y resultados

3.3.1 Temperatura de emisión superficial

Para analizar los resultados obtenidos para la temperatura de cada año, se clasificó la temperatura obtenida de cada año en rangos de 2°C, con el fin de poder dar especificidad a los resultados y así también poder comparar los resultados obtenidos entre un año y otro. El tipo de análisis es comparativo, tanto en las distintas áreas por año, como en la relación existente entre años.

3.3.2 Vigor vegetacional

En el caso del vigor vegetacional, dado que los valores obtenidos se encuentran en un rango más reducido del índice, se estableció para el análisis y la elaboración del producto cartográfico, dividir los rangos en valores de uno en uno, pudiendo de esta forma tener una mayor especificidad de los resultados obtenidos sin caer en generalizaciones. Esto debido a que el área de estudio es una zona mayoritariamente urbana y, por ende, las condiciones de la vegetación en una zona y otra no difieren en gran medida.

En función de lo anterior, se decidió no trabajar con ninguna categorización previamente establecida de los valores de índice, ya que estos en su mayoría agrupaban a los valores en apenas dos rangos, no logrando reflejar la diversidad y la diferencia existente entre unas manzanas y otras.

3.3.3 Relaciones bivariantes locales

Para comprender la relación entre la temperatura de emisión superficial y el vigor de la vegetación presente en el área de estudio, se analizó los resultados obtenidos a través del geoproceso “relaciones bivariantes locales”.

Las seis posibles categorías para clasificar los resultados son las siguientes:

1. *No significativa: la relación entre las variables no es significativa estadísticamente.*
2. *Lineal positiva: la variable dependiente aumenta linealmente a medida que aumenta la variable explicativa.*
3. *Lineal negativa: la variable dependiente disminuye linealmente a medida que aumenta la variable explicativa.*
4. *Cóncava: la variable dependiente cambia en forma de curva cóncava a medida que aumenta la variable explicativa.*
5. *Convexa: la variable dependiente cambia en forma de curva convexa a medida que aumenta la variable explicativa.*
6. *Complejo sin definir: las variables mantienen una relación significativa, pero ninguna de las otras categorías describe de forma fiable el tipo de relación.*

(Esri, 2022).

3.3.4. Elaboración de observatorio

Con los resultados obtenidos en los procesamientos anteriores, se construyó un observatorio ambiental en la plataforma ArcGis Online mediante la herramienta de Story Maps. En esta herramienta, se expusieron los principales resultados obtenidos a lo largo de esta investigación, de una forma sencilla e interactiva, con el fin de poder contar con un libre acceso a datos climáticos del Área Metropolitana de Santiago y así facilitar la difusión y complementariedad entre la investigación sistemática desarrollada por el Departamento de Geografía de la Universidad de Chile.

La herramienta StoryMaps, se constituye como una forma fácil y atractiva de presentar información dinámica, con el fin de disponibilizar opciones de seleccionar y comparar información de manera sencilla, sin la necesidad de generar una amplia cantidad de mapas asociados a una misma temática.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

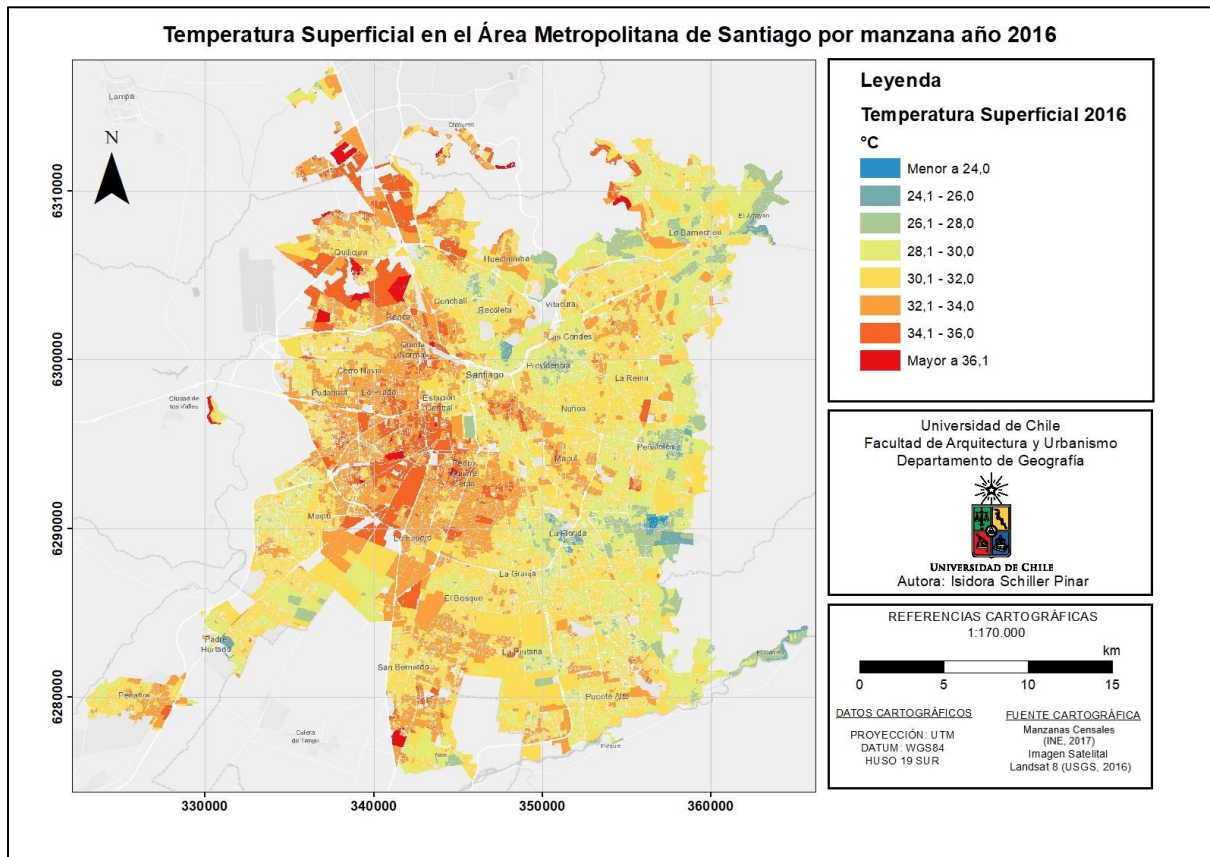
4.1 Condiciones de temperatura superficial de verano y del vigor de la vegetación en la ciudad de Santiago entre 2016 y 2021

Los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología descrita anteriormente dan cuenta de las condiciones ambientales del área de estudio año a año, así como variación del existente entre el año de inicio y el año de término del estudio. Los resultados dan cuenta del calentamiento experimentado por la ciudad en el transcurso de dichos años, así como de la evolución del vigor vegetacional y de la relación existente entre ambas variables en estudio. A continuación, se presentan los resultados en mayor detalle para cada año.

4.1.1 Temperatura de Emisión superficial 2016

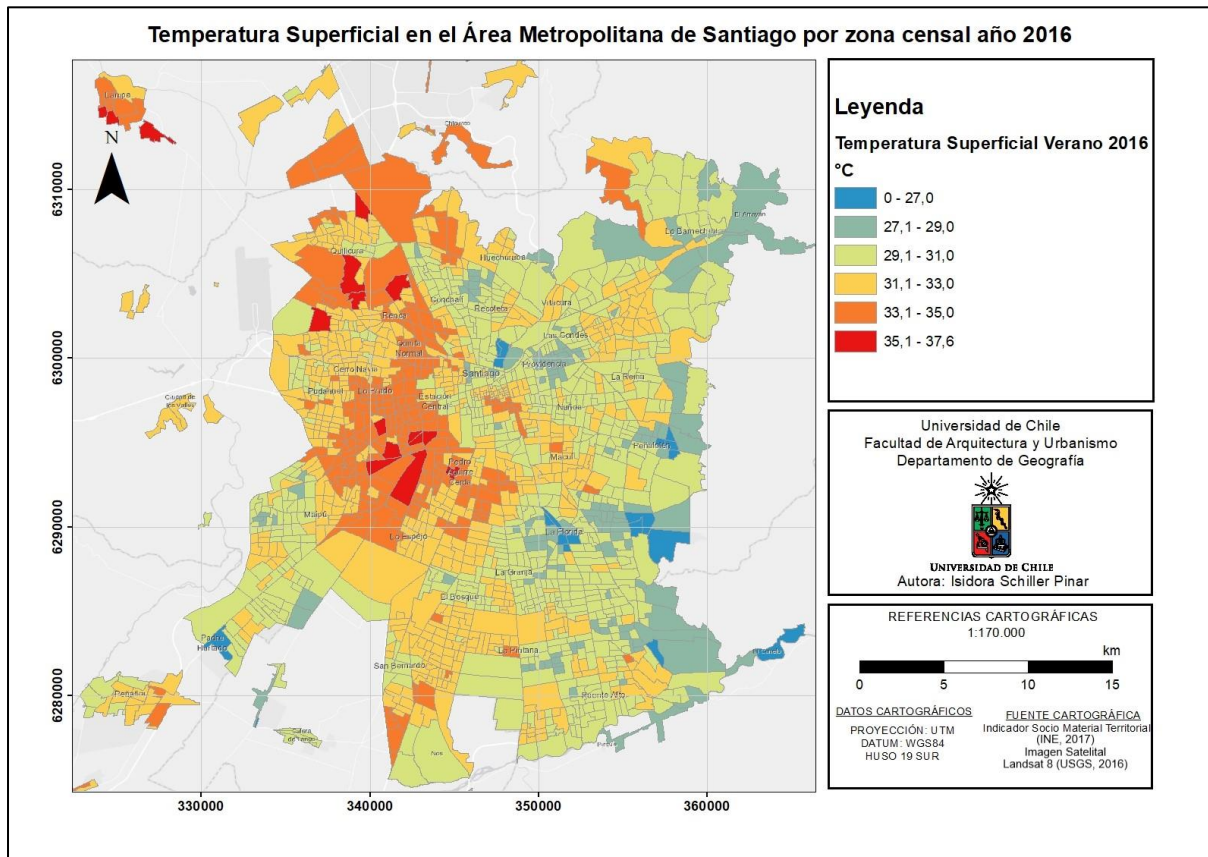
Para el caso del año 2016 es posible evidenciar en la *Figura N° 9* que existe una tendencia de zonas más cálidas hacia la zona poniente del área de estudio, existiendo notables concentraciones de áreas calientes en la comuna de Quilicura, Colina, Quinta normal, Lo Prado, Estación Central, Maipú, Cerrillos, Pedro Aguirre Cerda y Lo Espejo. Durante el 2016 es factible apreciar que la temperatura varía principalmente entre valores cercanos a los 28,1°C y 34°C. Las áreas más frías se encuentran principalmente en algunas zonas cordilleranas, caracterizadas por su presencia de vegetación como en La Florida, Peñalolén y Lo Barnechea, encontrándose las temperaturas más bajas en el piedmont de la comuna de La Florida alrededor de los 24°C.

Figura N° 9 Temperatura de Emisión Superficial el Área Metropolitana de Santiago por manzana año 2016



En la *Figura N° 10* se muestra la temperatura de emisión superficial del 2016, pero a escala de zona censal. Aquí se puede distinguir que las distribuciones de temperatura se mantienen en el territorio, siendo levemente más homogéneas debido a la agregación de manzanas a zonas. Las temperaturas más bajas se encuentran concentradas en la zona oriente del área de estudio, además de ciertas áreas que aparecen como más frescas en la comuna de Santiago. En cuanto a las áreas más cálidas, estas se localizan principalmente en la zona poniente del AMS, con una particular concentración entre Quilicura y Renca y las áreas de Cerrillos, Lo Prado, Estación Central y Pedro Aguirre Cerda.

Figura N° 10 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por zona censal año 2016

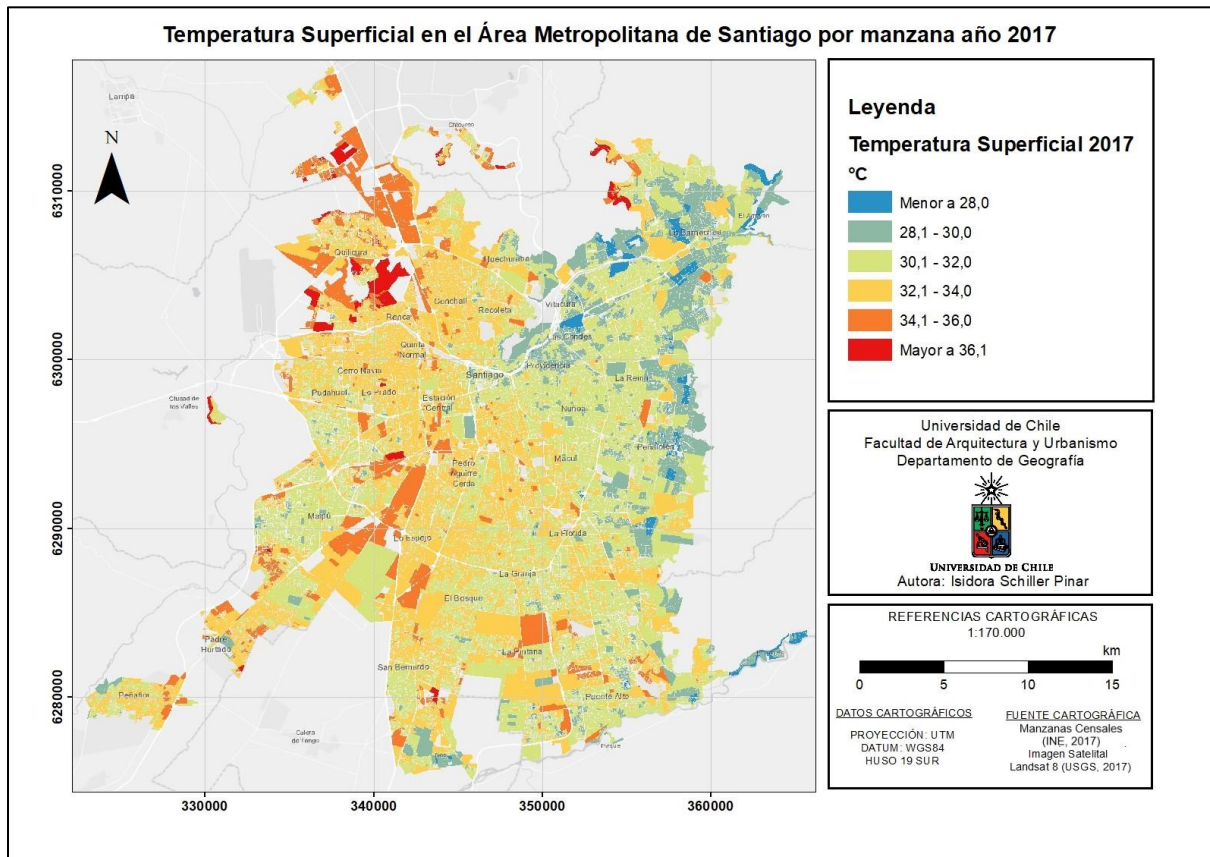


4.1.2 Temperatura de Emisión superficial 2017

En la *Figura N° 11* se observa que las principales concentraciones de alta temperatura se dan en la zona nor-poniente del área metropolitana de Santiago, principalmente en torno a la comuna de Quilicura, Renca y Colina. También durante el 2017 existió un nodo importante de temperatura en la zona en torno a Lo Espejo, y Cerrillos. Las temperaturas más bajas en este caso se encuentran particularmente concentradas en la zona nor-oriental y centro oriental del área de estudio, en las comunas de Vitacura, Las Condes, Lo Barnechea, La Reina, Peñalolén y La Florida. Las temperaturas más bajas que se registran durante el 2017 se encuentran alrededor de los 28° y las más altas en torno a los 36,1°.

Es posible distinguir que en comparación al año 2016 la temperatura ha aumentado, llegando tanto a máximas como a mínimas más altas, es decir, el año 2017 se constituye como un año más cálido que su antecesor (ver *Figura N° 9* y *Figura N° 11*).

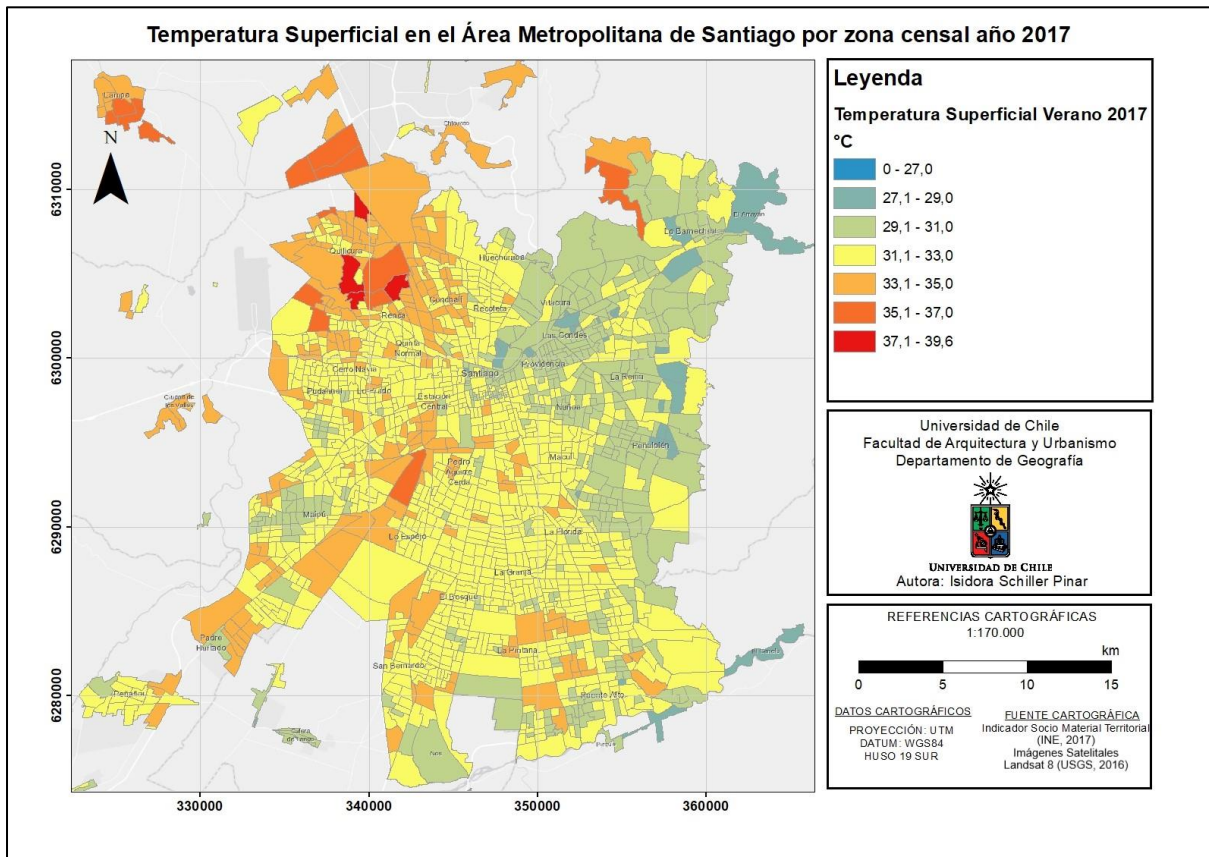
Figura N° 11 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por manzana año 2017



En la *Figura N° 11* se aprecia que al igual que en el año anterior, las temperaturas más bajas se concentran en la zona oriente del AMS principalmente en la zona centro-oriente y nororiente, en este año en comparación al año anterior, las temperaturas mínimas fueron un poco más altas. En cuanto a las zonas más cálidas, se encuentran localizadas en mayor medida en la zona norponiente, es posible apreciar que, a diferencia del año anterior, estas altas temperaturas se encuentran más localizadas y no tan distribuidas en toda la zona poniente. De todas maneras, el año 2017 fue un año más cálido que el año 2016 ya que la temperatura más baja de las zonas censales más frías, fueron más altas que el año anterior, así como la temperatura más alta de las zonas censales más cálidas fueron a la vez más altas.

Se observa que, en comparación con la temperatura expresada por manzanas, el territorio se vuelve más homogéneo, pero se mantienen las tendencias. Sin embargo, no se logra distinguir una gran diferencia en cuanto a una variación de la temperatura debido a integrar el territorio de forma continua (ver *Figura N° 12*).

Figura N° 12 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por zona censal año 2017

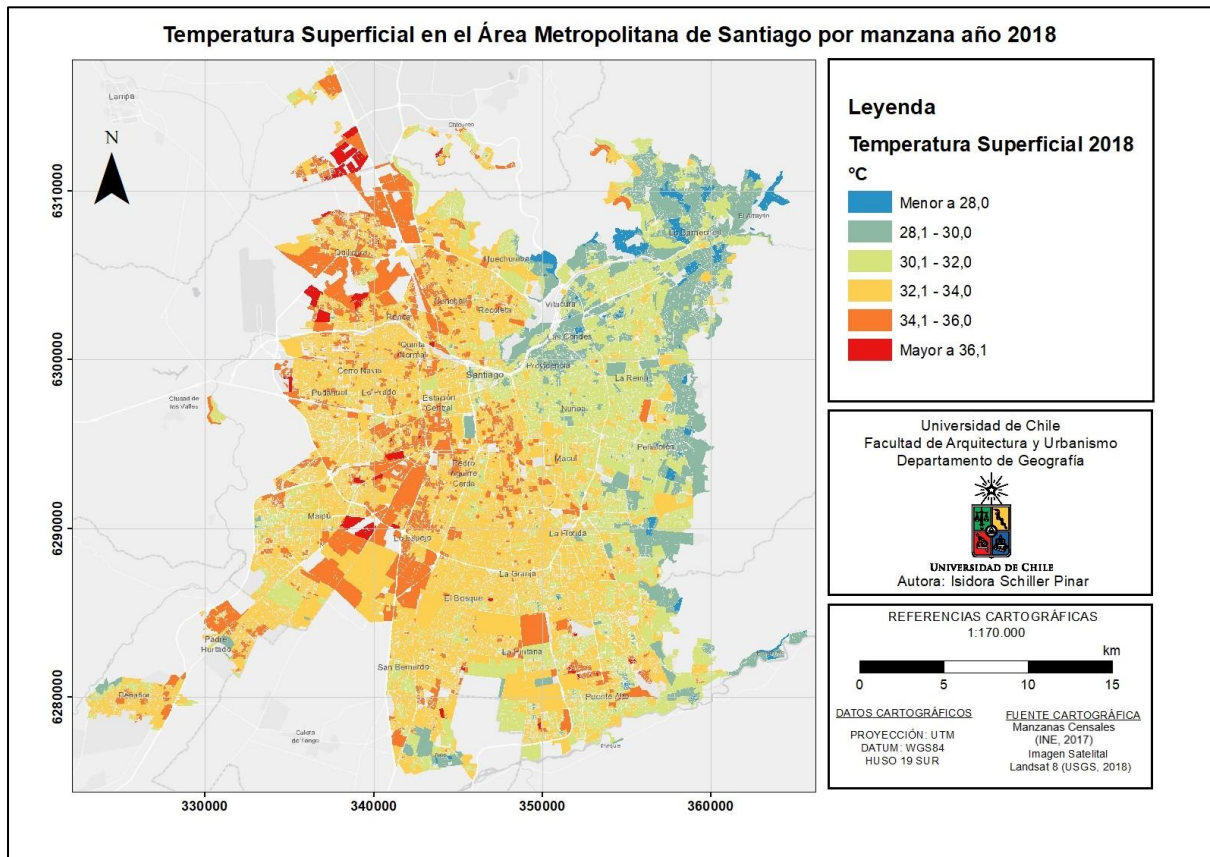


4.1.3 Temperatura de Emisión Superficial 2018

En el caso del año 2018, se puede apreciar en la Figura N° 13 que las temperaturas más altas se concentran nuevamente en la zona poniente del área de estudio, principalmente en las comunas de Quilicura, Conchalí, Renca y Colina, así como también en la intersección entre las comunas de Maipú, Cerrillos, Lo Espejo y San Bernardo. En cuanto a las manzanas más frías, estas se encuentran en el cono oriente de la capital, concentrándose entre las comunas de Vitacura, Providencia, Las Condes, Lo Barnechea, La Reina, Peñalolén y La Florida.

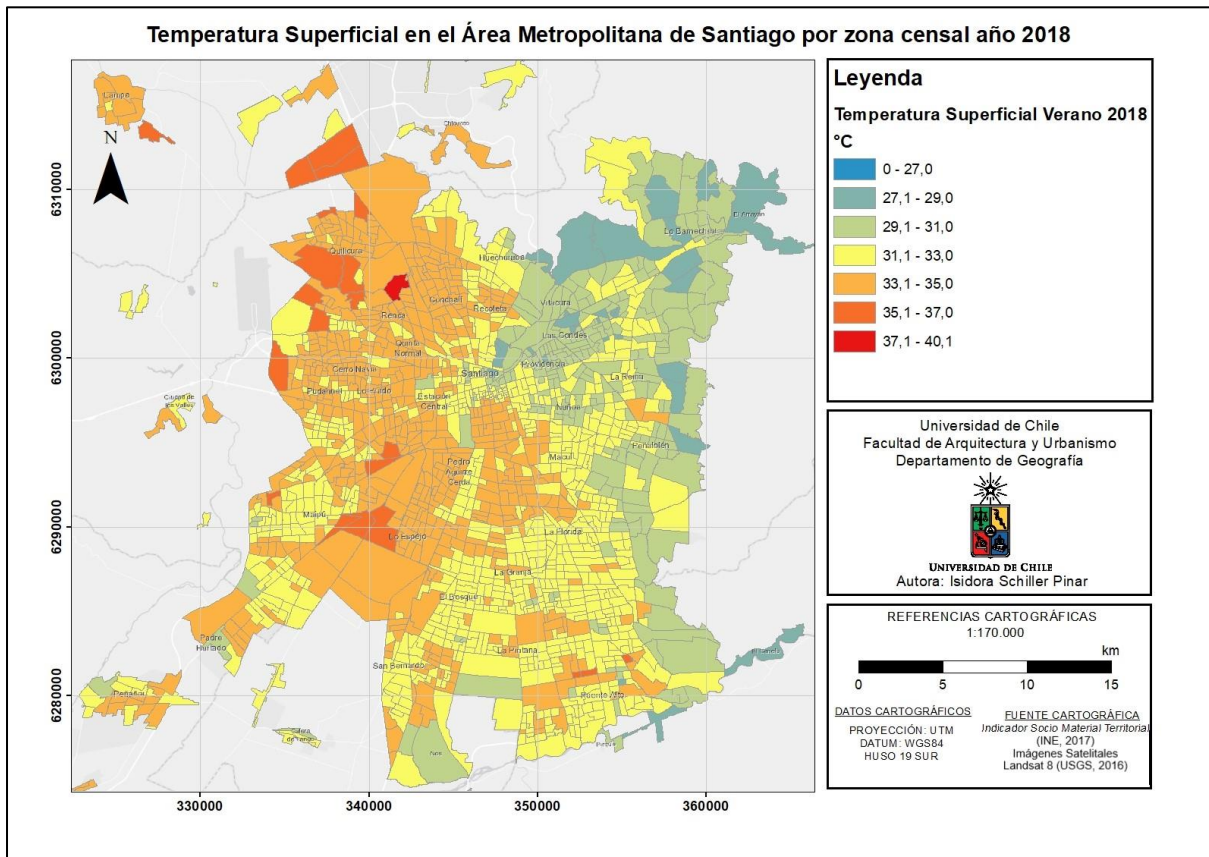
El año 2018 en comparación al año 2017 es un año más cálido en términos generales donde predominan principalmente los valores entre 32,1°C y 36 °C, siendo más predominantes desde el centro del área de estudio hacia la zona poniente de ella. Las temperaturas más bajas que se registran durante este año se encuentran en torno a los 28°C y las temperaturas más altas alrededor de los 36,1°.

Figura N° 13 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por manzana año 2018



Al observar la Figura N° 14 en la cual se muestra la temperatura de emisión superficial del año 2018 pero a nivel de zona censal, se vuelve mucho más evidente la polarización de las temperaturas en relación a la zona poniente y oriente del área de estudio, se observan las áreas más cálidas concentradas en toda la zona poniente del AMS y las más frescas en la zona oriente, ubicándose las más frescas en el cono nororiental. En cuanto a las temperaturas más cálidas, el rango predominante se encuentra entre los 33,1°C y los 35,0°C. En cuanto a los valores más bajos, el rango predominante se encuentra entre los 29,1°C y los 31,0°C.

Figura N° 14 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por zona censal año 2018

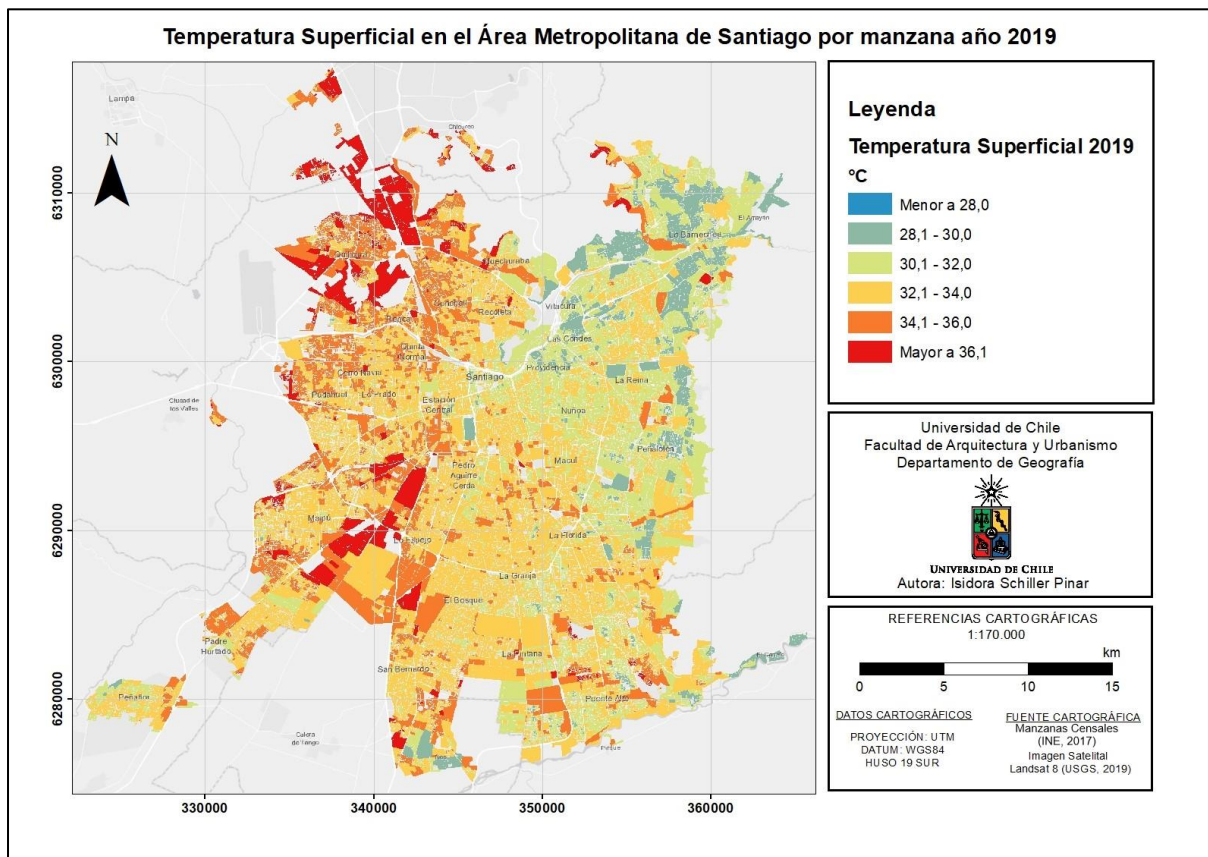


4.1.4 Temperatura de Emisión Superficial 2019

Durante el año 2019 es factible distinguir que al igual que los años anteriores las temperaturas más altas se encuentran en la zona poniente del área metropolitana de Santiago concentrándose en las comunas de Quilicura, Renca, Huechuraba, Colina, Lo Espejo, Cerrillos, Maipú y San Bernardo. Las temperaturas más bajas se registran nuevamente entre en el cono oriente, entre las comunas de Peñalolén, La Reina, Lo Barnechea, Vitacura, Las Condes y Providencia. Se puede notar que durante este año prácticamente no hay manzanas en rango de menor a 28°C y que las manzanas que se encuentran en el rango 28,1°C a 30°C, son considerablemente menos y por ende representan un área mucho menor (ver Figura N° 15).

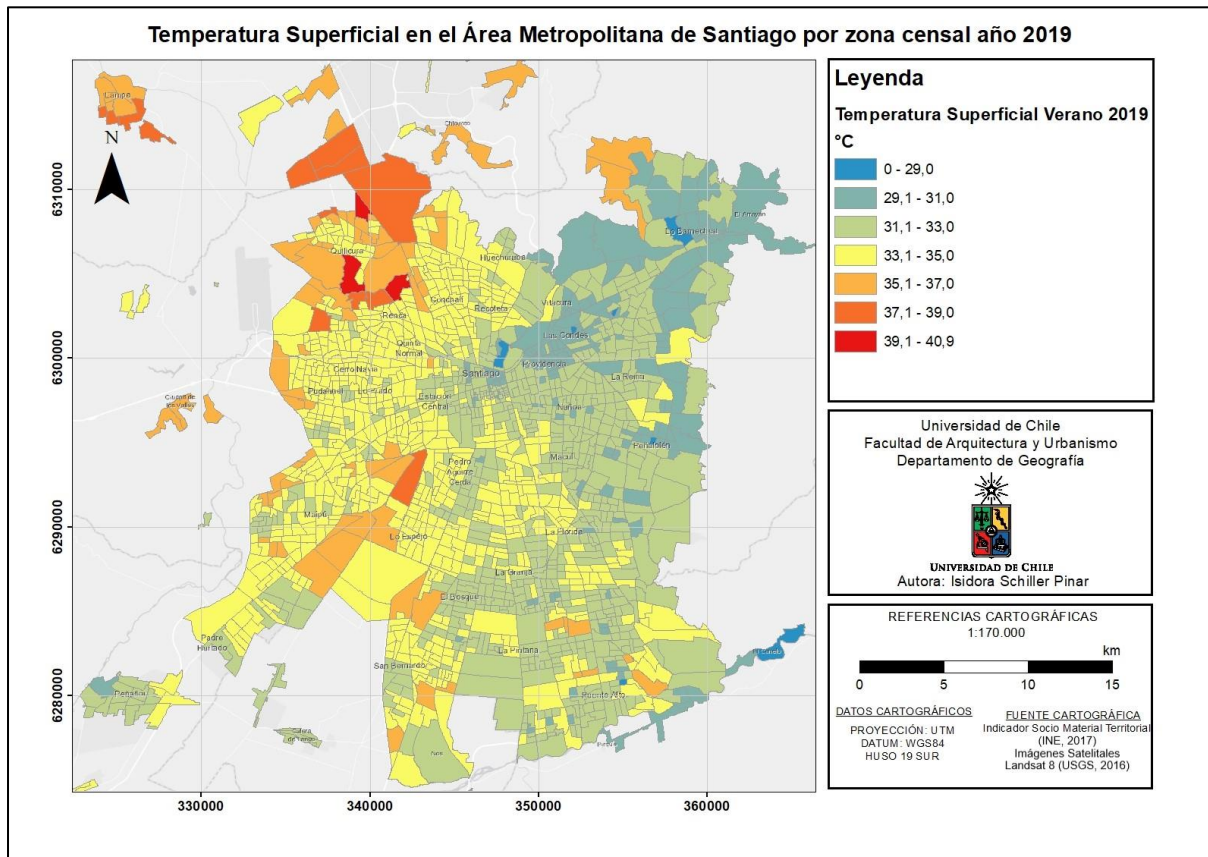
Al observar la Figura N° 15 es evidente que muchas manzanas que se encontraban en el rango de los 34,1°C a los 36°C, subieron al rango de mayor de 36°C, además de poseer muchos menos valores bajos, por ende el año 2019 se constituye de acuerdo a su temperatura superficial como uno de los años más cálidos en este análisis a escala de manzana.

Figura N° 15 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por manzana año 2019



Al observar la Figura N° 16 se aprecia que el año 2019 es un año considerablemente menos cálido que el año 2018, los rangos predominantes son los ubicados entre los 31,1°C y los 33,0°C para la zona oriente y los 33,1°C y los 35,0°C para la zona poniente. Las temperaturas más bajas se ubican nuevamente en el cono nororiente del área de estudio. Por otro lado, las temperaturas más altas se ubican en la zona norponiente. Se observa que, a diferencia del año anterior, en el caso del 2019 existen más zonas censales que presentan los rangos mínimos de temperatura medibles para el año.

Figura N° 16 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por zona censal año 2019

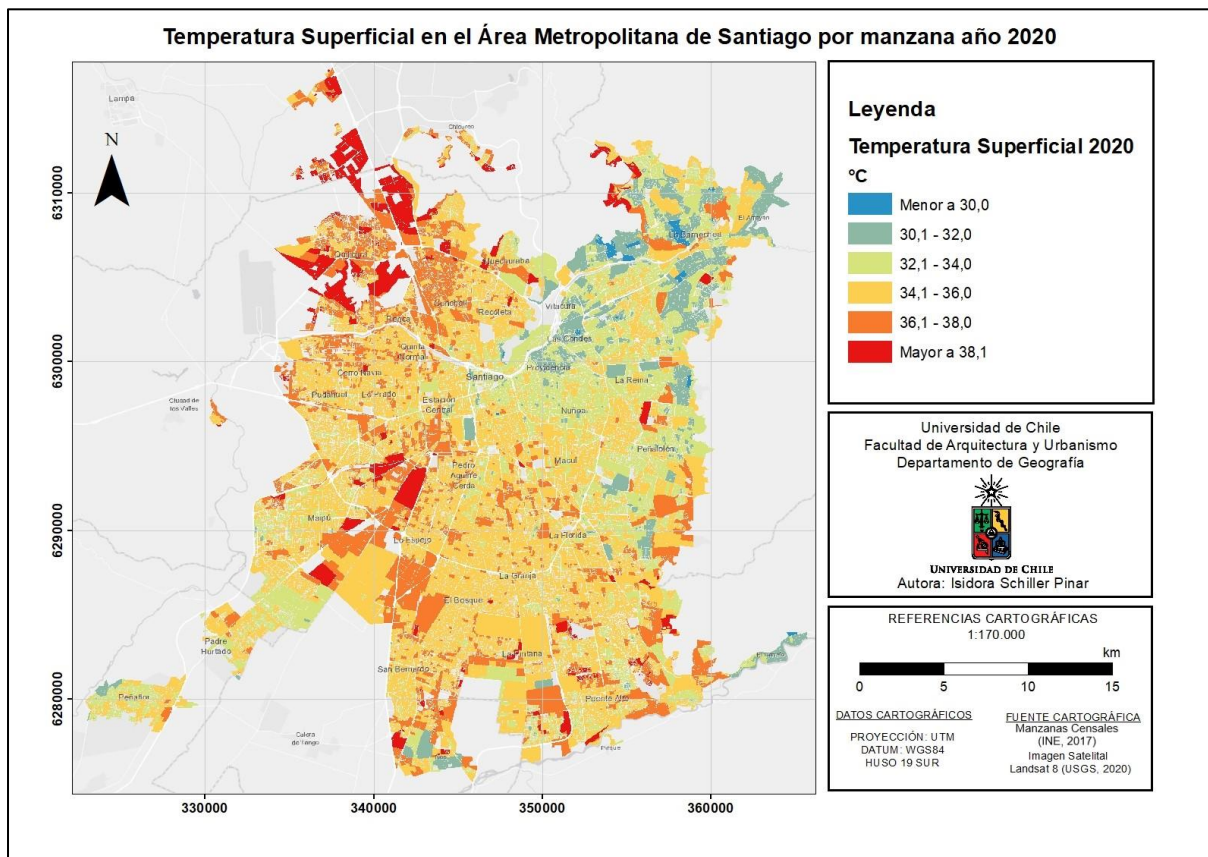


4.1.5 Temperatura de Emisión Superficial 2020

Para el caso del año 2020 es posible apreciar que las temperaturas son más altas que las temperaturas de los años anteriores, ubicándose entre valores alrededor de los 30°C y los 38,1°C, existiendo una disminución de las manzanas con temperaturas bajo los 30°C, es decir, existe un aumento de las temperaturas de las manzanas frías del área de estudio. Se puede demostrar que existe una menor concentración de zonas frescas en la zona oriente del AMS, reduciéndose principalmente a las comunas de Las Condes, Vitacura, Providencia y Lo Barnechea (ver Figura N° 17)

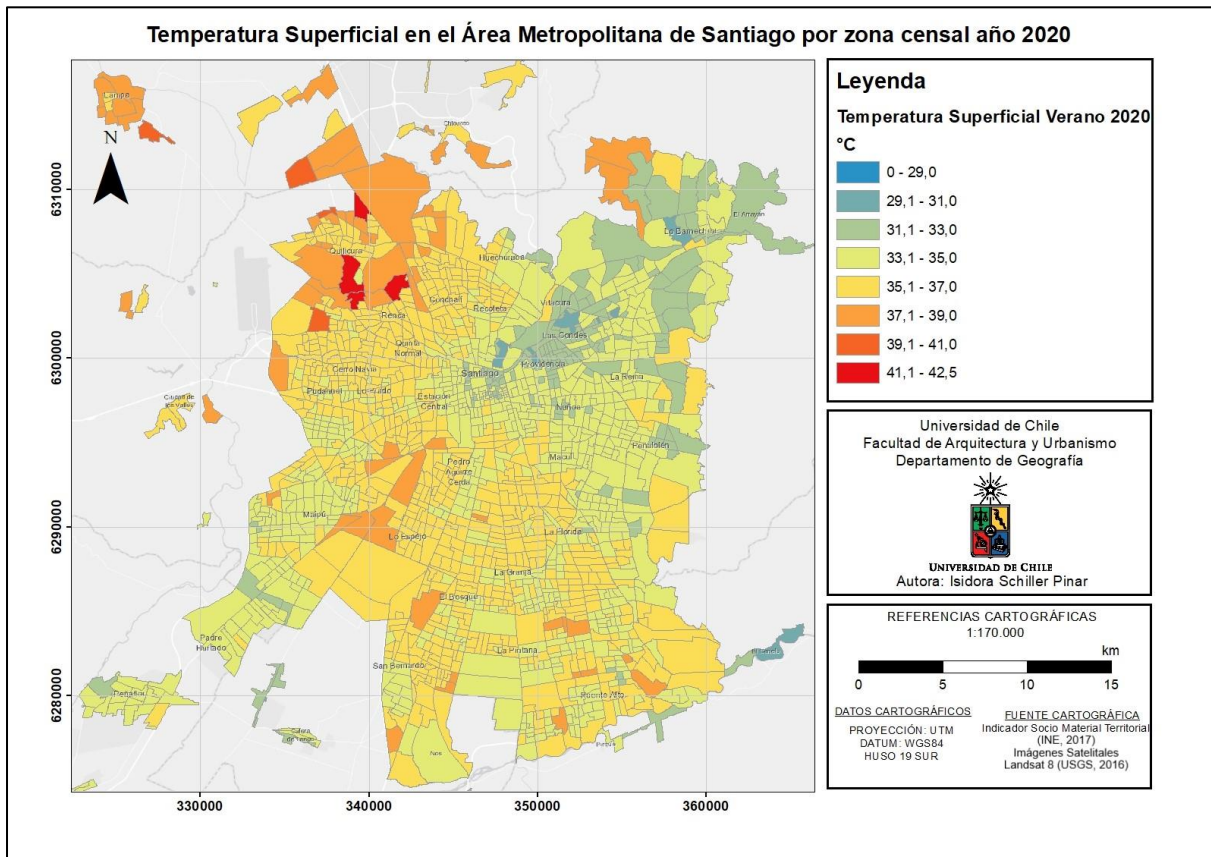
En el caso de las zonas más cálidas se mantienen localizadas en torno a las comunas de Quilicura, Lampa y Colina, así como en una parte de Cerrillos y Lo Espejo.

Figura N° 17 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por manzana año 2020



Al igual que en años anteriores, en la Figura N° 18 se distingue en el año 2020, las temperaturas más altas se encuentran localizadas en la zona norponiente del AMS y las áreas más frías se encuentran localizadas en la zona nororiente de esta. En este caso las temperaturas altas llegaron a ser más altas que en años anteriores, a diferencia de las temperaturas más bajas que al igual que en casi todos los años se ubican en torno a los 29,1°C y los 31,0°C. En las zonas censales del año 2020 son predominantes los valores entre los 33,1°C y los 37,0°C, encontrándose las zonas más frías ubicadas principalmente en la zona oriente y las zonas cálidas en la zona poniente del área de estudio.

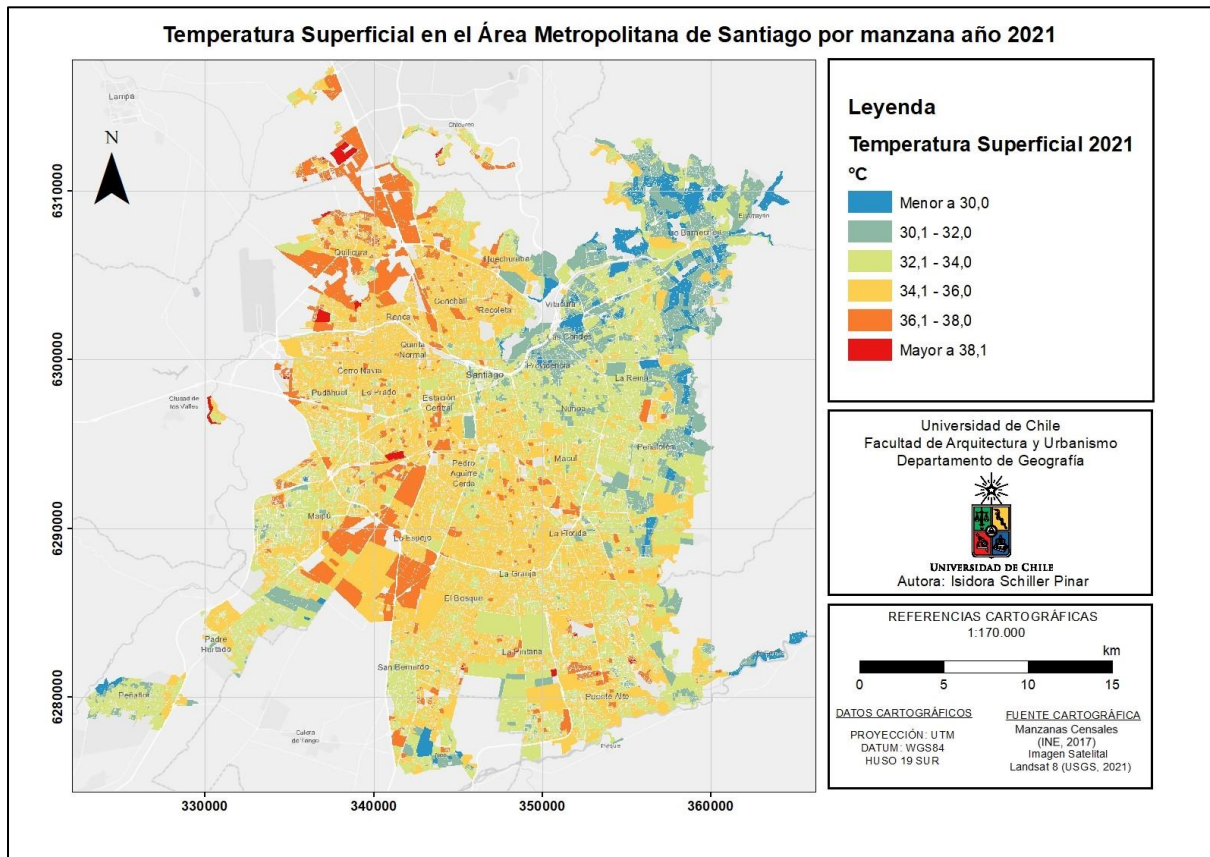
Figura N° 18 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por zona censal año 2020



4.1.6 Temperatura de Emisión Superficial 2021

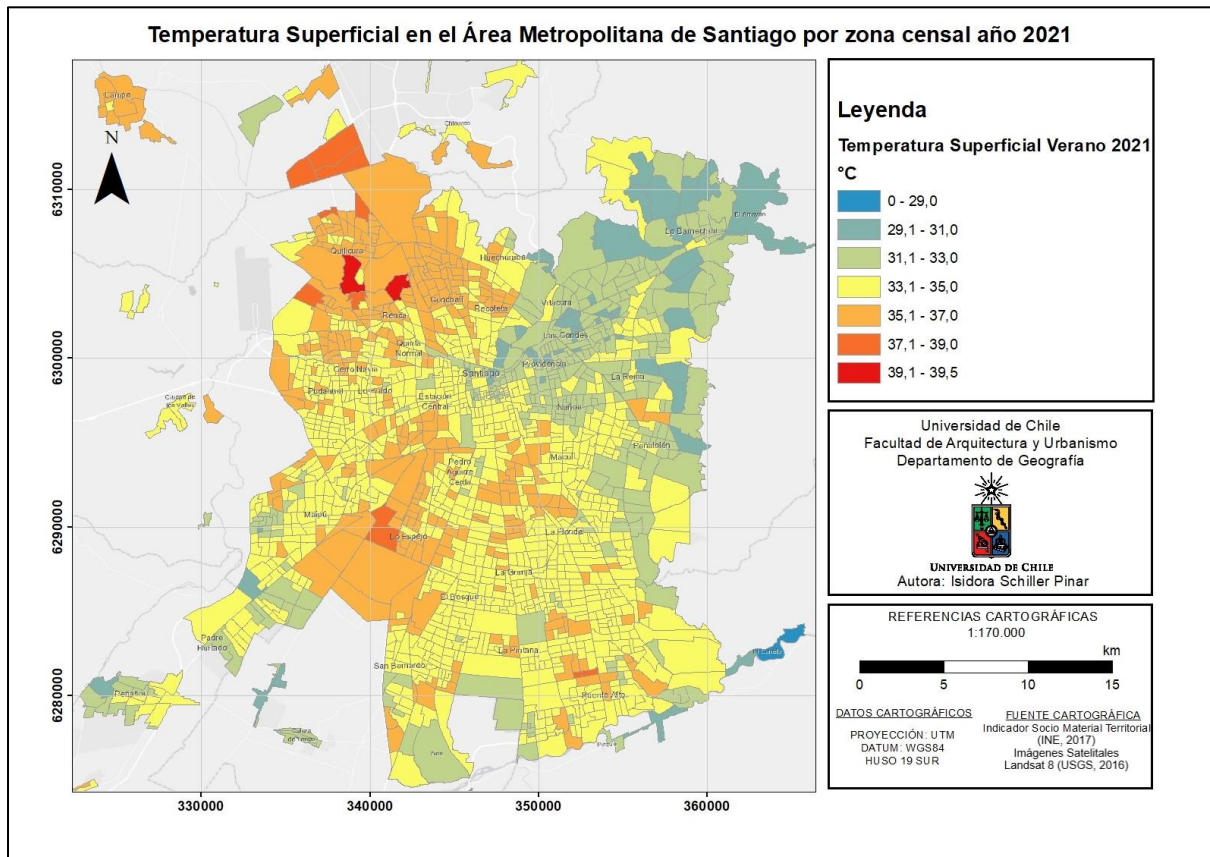
Es posible visualizar en la Figura N° 19 que existe nuevamente una concentración de las zonas cálidas y frías en las mismas áreas mencionadas en los años anteriores, concentrándose las zonas más cálidas en la zona poniente de la ciudad y las zonas frías en la zona oriente principalmente hacia el norte. En comparación al año 2020, el año 2021 se constituye como un año levemente menos cálido principalmente considerando sus extremos, existe un número mucho más pequeño de manzanas que superan los 38,1°C y un número bastante mayor de manzanas que están por debajo de los 30°C.

Figura N° 19 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por manzana año 2021



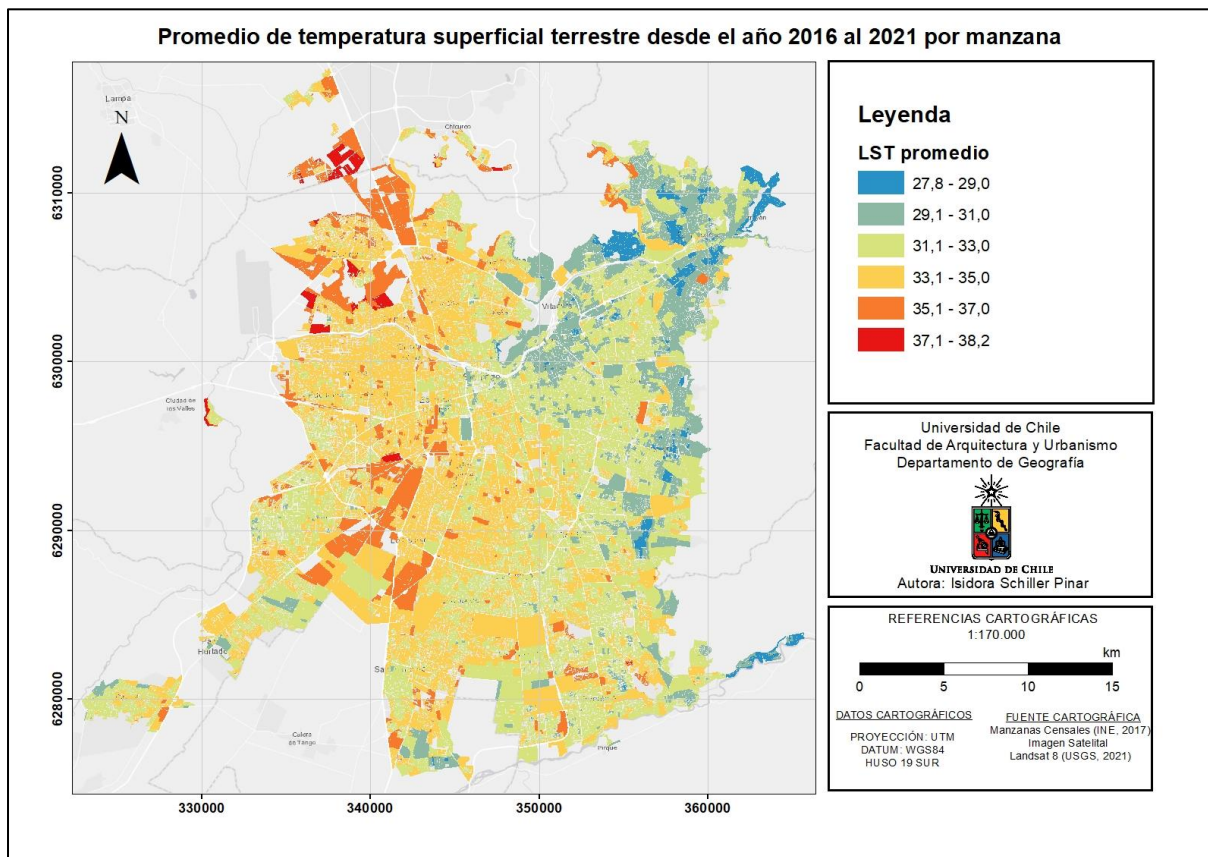
En el caso del análisis según zona censal para el año 2021, se aprecia que la distribución de temperaturas resulta ser levemente más homogénea que otros años, sin embargo, se mantienen las tendencias de las temperaturas más bajas en la zona nororiente del área de estudio y en el caso de las zonas más cálidas se encuentran localizadas principalmente en la zona norponiente y en el área cercana a la comuna de Lo Espejo y Cerrillos (ver Figura N° 20)

Figura N° 20 Temperatura de Emisión Superficial del Área Metropolitana de Santiago por zona censal año 2021



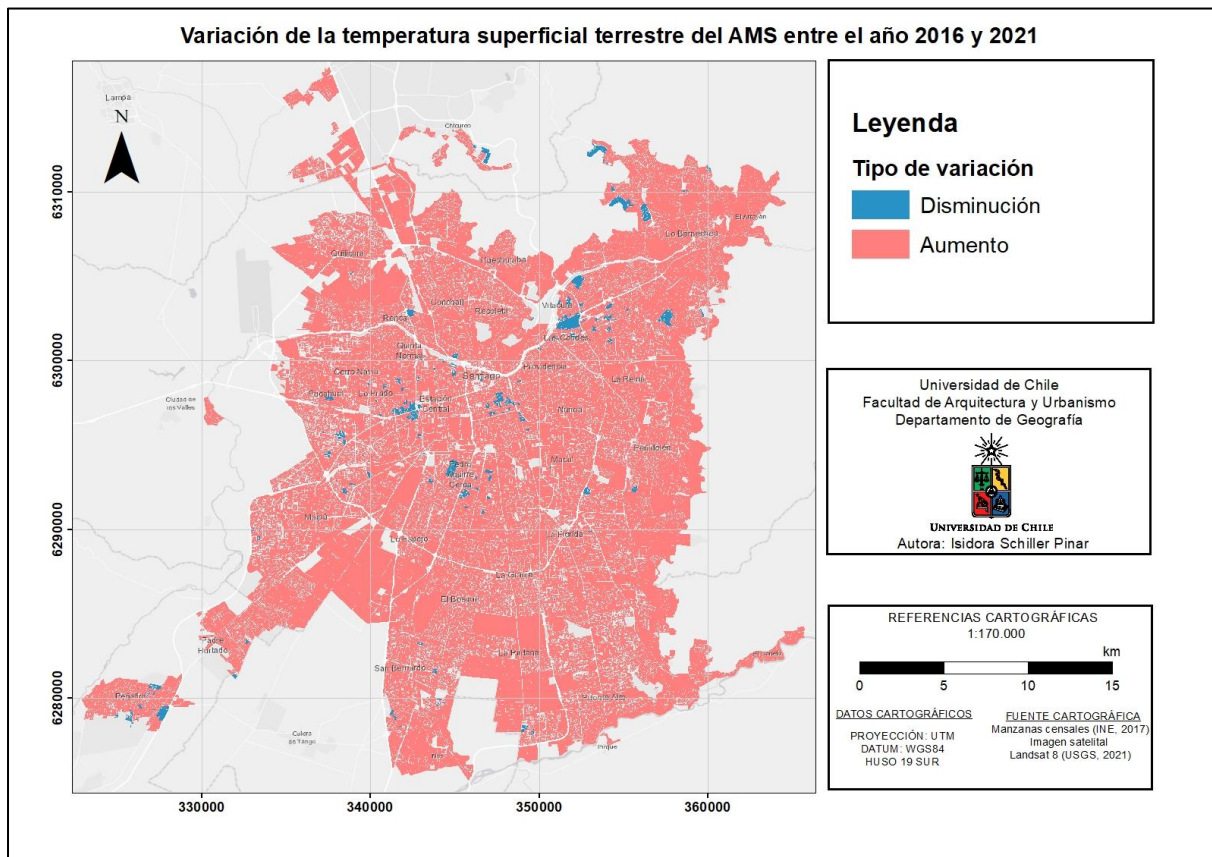
En la Figura Figura N° 21 se muestra el cálculo realizado para obtener el promedio de las temperaturas de la temporada de verano para todo el periodo de estudio. Al observar dicha Figura, se aprecia que los valores oscilan entre los 27°C y los 38°C grados, sin embargo, la gran mayoría del territorio tiene su temperatura superficial entre los 31°C y los 35°C. Las áreas más frías se localizan principalmente en la zona nororiente de AMS y las áreas más cálidas se encuentran concentradas en la zona norponiente.

Figura N° 21 Promedio de Temperatura de Emisión Superficial desde el año 2016 al 2021 por manzana



En la Figura N° 22 se demuestra la variación de temperatura entre el año 2016 y 2021, en términos de disminución o aumento de la temperatura de emisión superficial. Como se evidencia en ella, la tendencia es hacia el aumento para prácticamente todo el territorio, existiendo manzanas muy localizadas que se enfriaron entre los años expuestos. Esto se relaciona directamente con las tendencias hacia el calentamiento que han sido predominantes debido al cambio climático y a la urbanización de las áreas naturales.

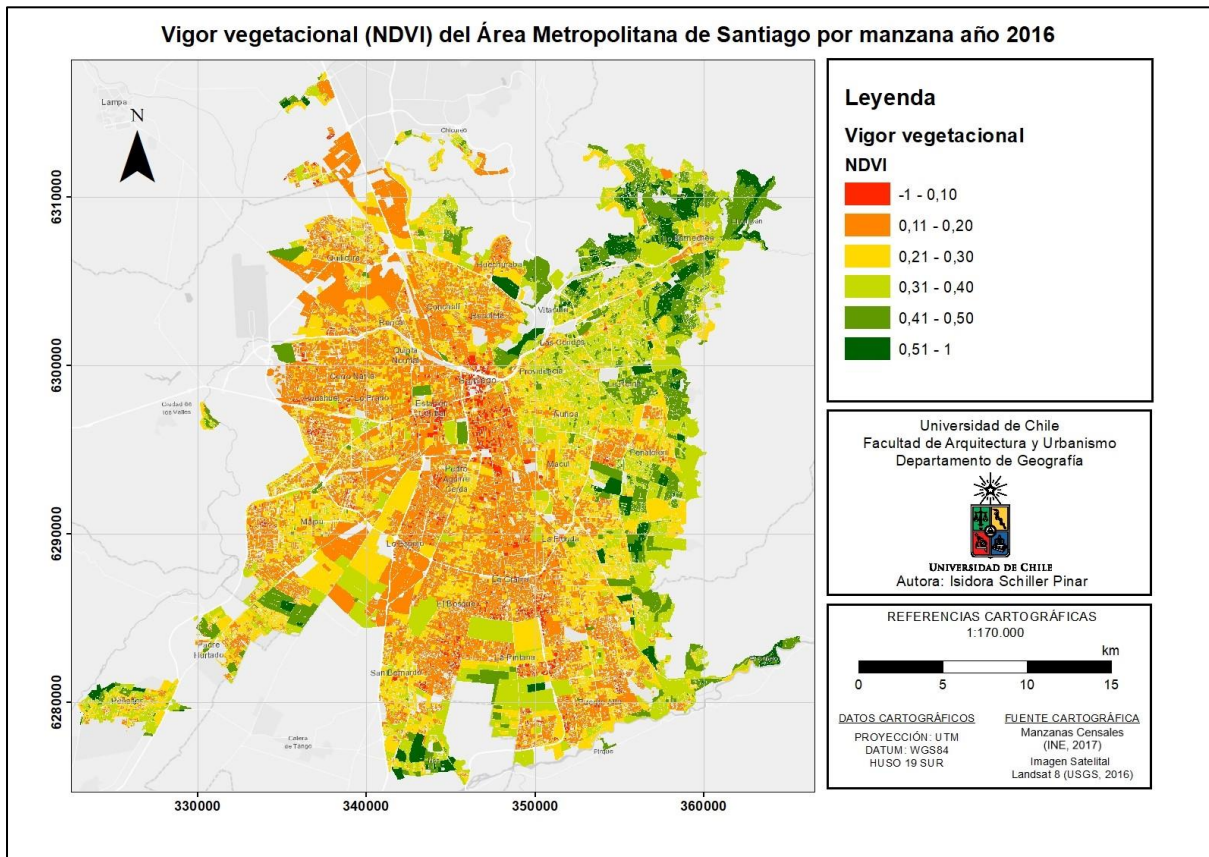
Figura N° 22 Tipo de variación de temperatura del año 2016 al 2021



4.1.7 Vigor vegetacional para el año 2016

Al analizar la condición de la vegetación para el año 2016 se puede visualizar que las mejores condiciones de la vegetación se ubican en la zona oriente del AMS y en algunas zonas de la periferia, principalmente hacia la zona sur. Los valores más altos del índice se encuentran localizados principalmente en Lo Barnechea, Vitacura y Las Condes. También se destacan valores sobre los 0,51 en lugares como La Reina, Peñalolén, La Florida, Puente Alto, San José de Maipo y Buin. Se puede señalar que, en todas las comunas mencionadas anteriormente, la predominancia de las manzanas presenta valores del índice que van entre los 0,31 y el 1, de esta forma se comprende que la vegetación más saludable y vigorosa se encuentra principalmente localizada en la zona oriente y representa una cantidad considerablemente menor de superficie que las áreas con vegetación menos saludable (ver Figura N° 23).

Figura N° 23 Vigor Vegetacional para el Área Metropolitana de Santiago por manzana año 2016

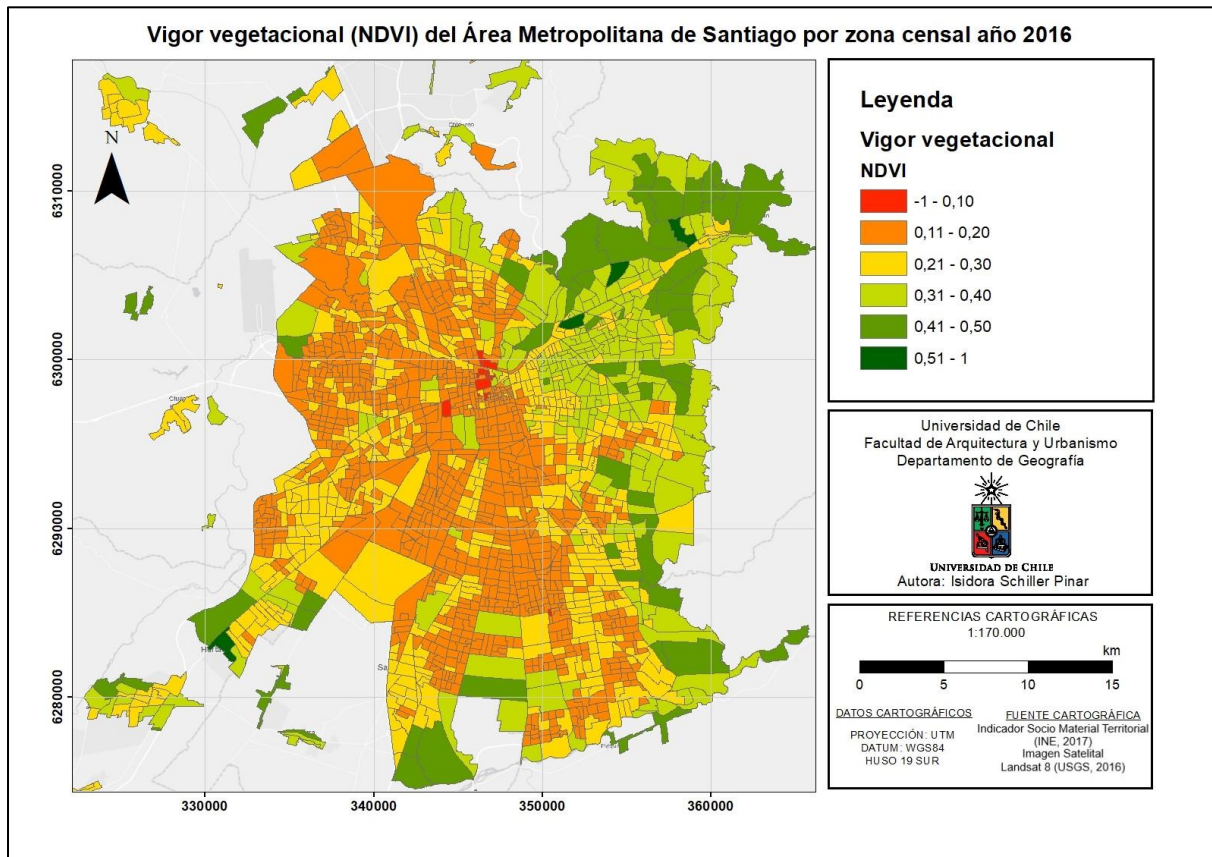


Del mismo modo en la *Figura N° 23* es posible señalar que la vegetación menos vigorosa se encuentra concentrada en la zona centro y poniente del área de estudio, donde los valores más bajos se ubican en la zona centro, destacándose varias manzanas en las comunas de Estación Central y Santiago Centro que presentan valores entre -1 y 0,10. El resto también se caracteriza por poseer manzanas que principalmente poseen una vegetación que se encuentra en un estado poco óptimo encontrándose en valores entre los 0,11 y los 0,3.

Es importante destacar que las zonas que presentan la vegetación más vigorosa son las áreas que poseen una población con mejores condiciones económicas y las áreas con vegetación menos saludable tienden a corresponder a sectores menos acomodados.

Para el caso del vigor vegetacional a escala de zona censal (ver *Figura N° 24*), se observa que los niveles óptimos del índice se encuentran en la zona oriente del AMS, concentrados principalmente hacia la zona nororiente del área. También se pueden distinguir ciertas áreas con niveles óptimos en zonas censales ubicadas hacia los extremos de la ciudad en la periferia. En el caso de las zonas con peor índice, es decir, los que se encuentran entre -1 y 0,1, se encuentran concentrados en el centro de la ciudad, pero son muy poco abundantes. Sin embargo, el valor entre 0,11 y 0,2 es predominante en el área de estudio, encontrándose particularmente concentrado en la zona centro y poniente de la ciudad. Es factible apreciar que los patrones son bastante parecidos con respecto al mismo año, pero a escala de manzana.

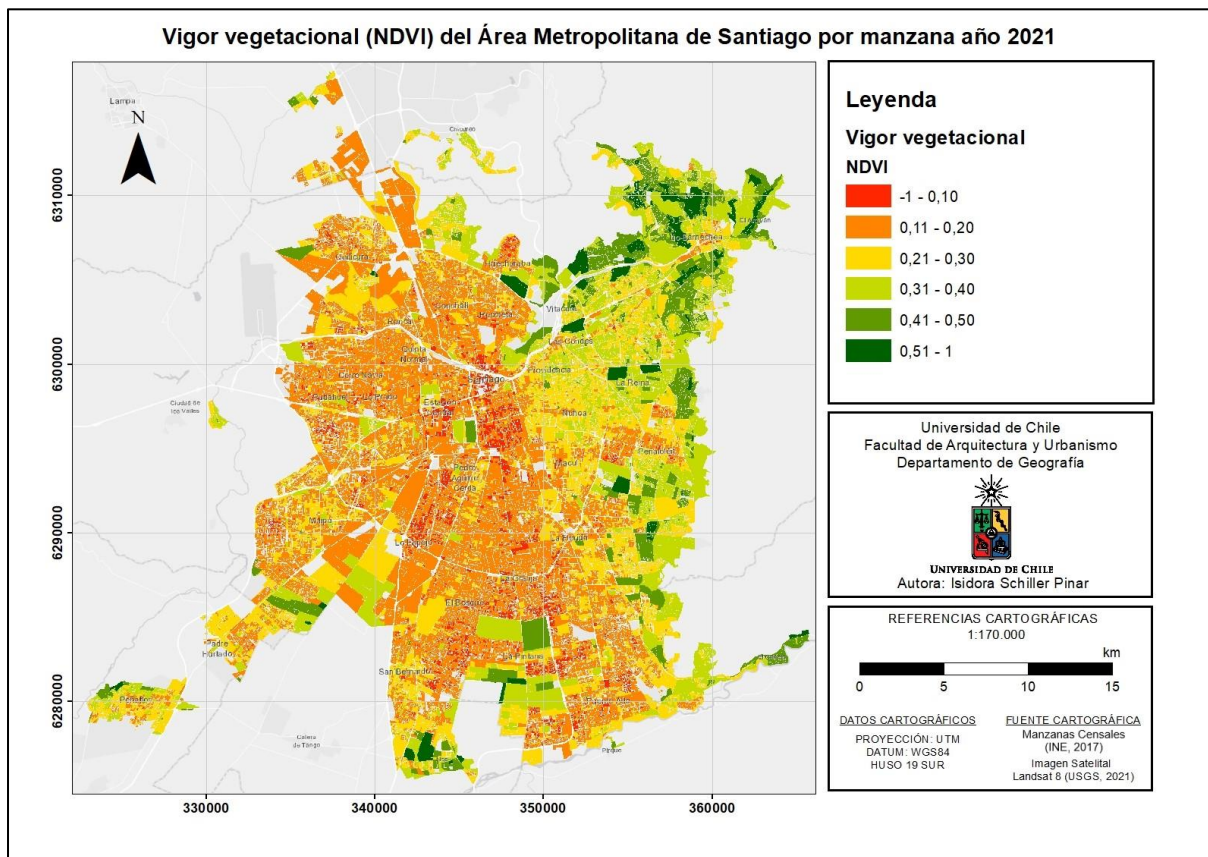
Figura N° 24 Vigor Vegetacional para el Área Metropolitana de Santiago por zona censal año 2016



4.1.8 Vigor vegetacional para el año 2021

En el caso del año 2021 (ver Figura N° 25), se puede visualizar que al igual que en el año 2016, las mejores condiciones de la vegetación se localizan en la zona oriente del área de estudio y en algunas manzanas de la periferia que se ubican mayoritariamente hacia la zona sur. Sin embargo, es posible apreciar que estas manzanas con altos valores son considerablemente menos tanto en cantidad como en superficie abarcada que lo que eran en el año 2016. Si bien las comunas que concentran los valores óptimos del índice siguen siendo las mismas (Lo Barnechea, Vitacura y Las Condes), todas ellas vieron afectados el vigor de su vegetación, ya que muchas manzanas bajaron en un rango su condición. De acuerdo a lo anterior, se aprecia que la tendencia es hacia la disminución del vigor vegetacional, sin embargo, en un rango de tiempo de 6 años, las comunas que obtienen los mejores valores siguen siendo las mismas.

Figura N° 25 Vigor Vegetacional para el Área Metropolitana de Santiago por manzana año 2021



Por otro lado, en la *Figura N° 25* se distingue que las áreas con peores condiciones vegetacionales, se encuentran ubicadas en la zona centro y poniente del Área Metropolitana de Santiago, notándose que al igual que en la zona oriente, existe una tendencia hacia el empeoramiento de las condiciones y por ende un menor vigor vegetacional en muchas de las manzanas de esta zona en comparación a las condiciones identificadas en el año 2016.

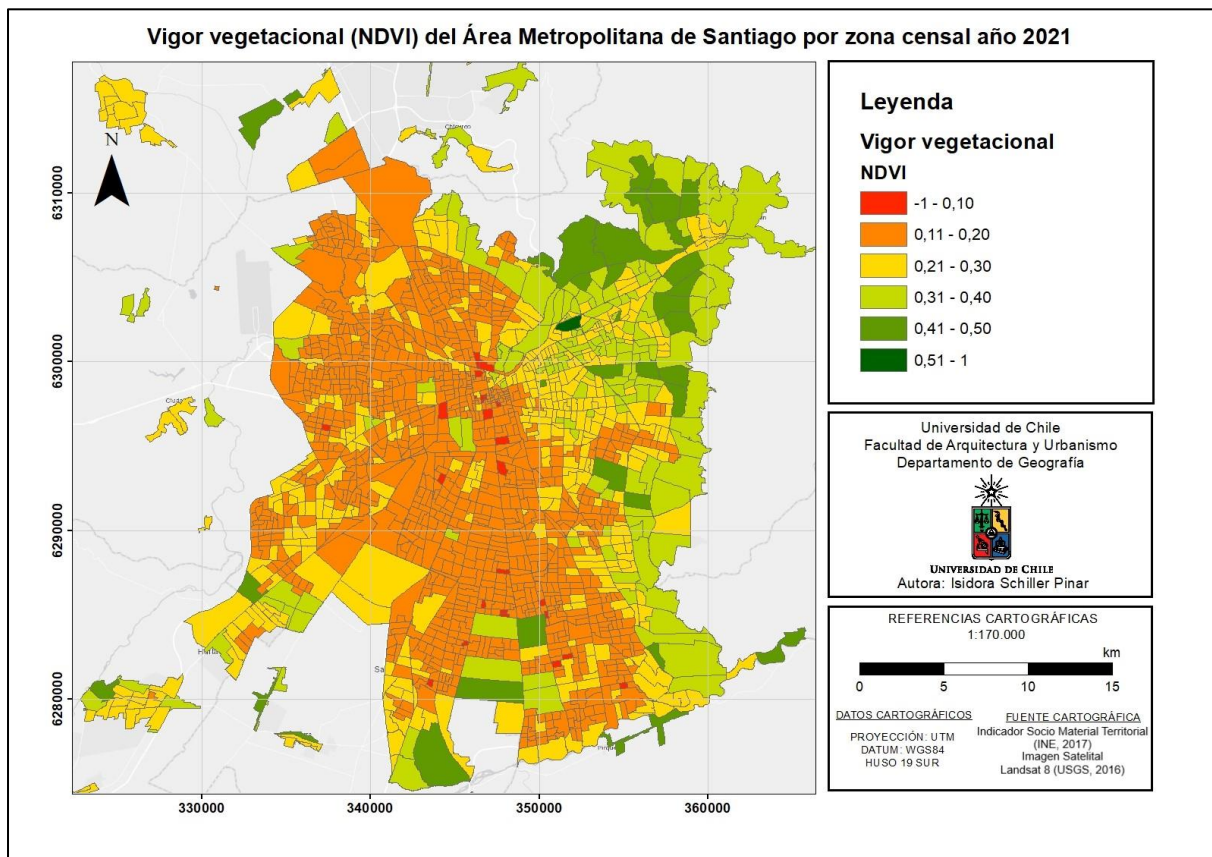
En cuanto a lo anterior entonces, y comparando el año de inicio y el año de término del análisis de esta investigación, se aprecia un deterioro en cuanto al vigor vegetacional en gran parte del territorio del Área Metropolitana de Santiago.

En la *Figura N° 26* se puede observar el caso del año 2021 a escala de zona censal, en este mapa el índice presenta una menor cantidad de zonas censales con valores óptimos en cuanto al vigor vegetacional de dichas áreas, sin embargo, se mantiene el patrón de distribución presentado a la misma escala, pero en el año 2021. Esto nos indica que ha existido una degradación de las áreas verdes presentes en aquellas zonas censales.

Por otro lado, pero en la misma línea, existen más áreas con el índice entre -1 y 1 y las cuales se encuentran distribuidos a lo largo de la ciudad, concentrándose en la columna central del AMS. Las zonas con valores entre 0,11 y 0,2 también aumentaron en comparación al año 2016

pero mantienen la distribución de aquel año. En términos generales se observa entonces que las condiciones del vigor de la vegetación en la mayor parte del área de estudio disminuyeron entre 2016 y 2021.

Figura N° 26 Vigor Vegetacional para el Área Metropolitana de Santiago por manzana año 2021

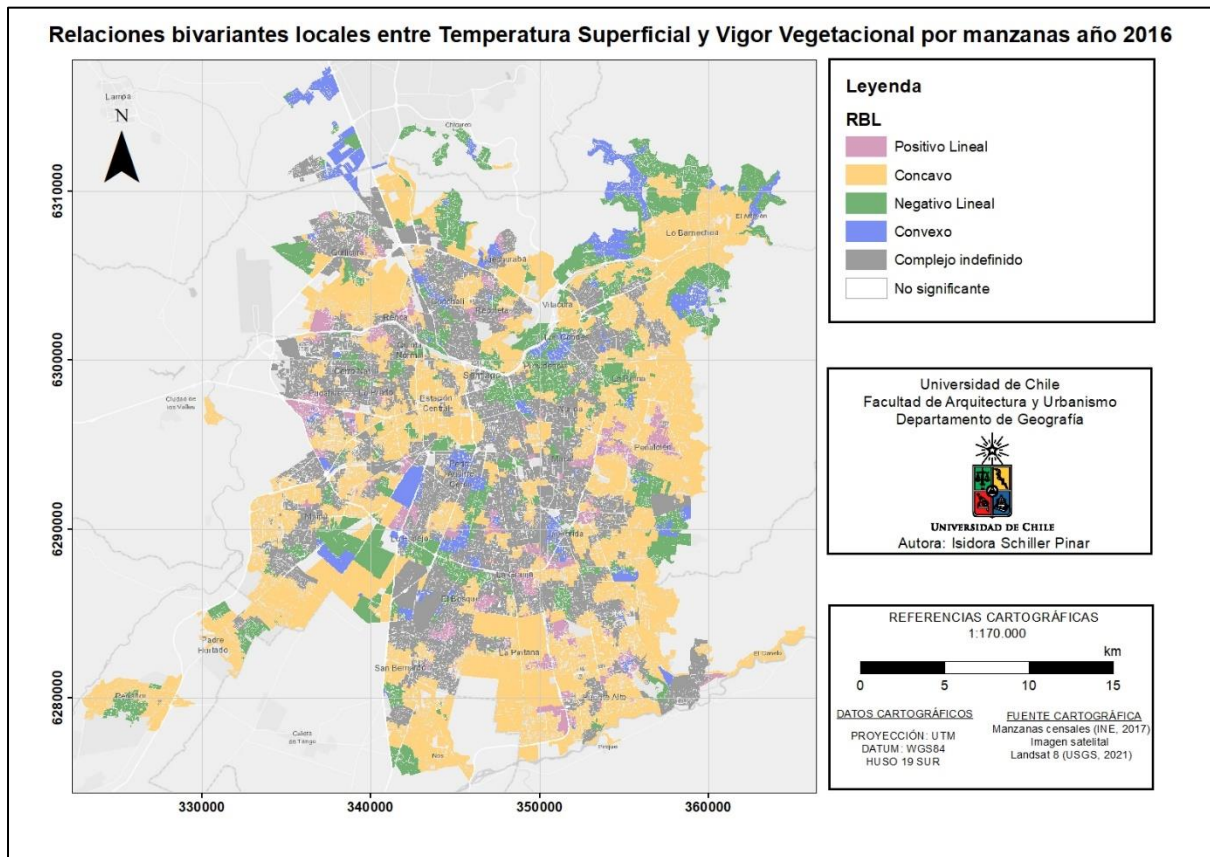


4.2 Relación entre temperatura y vigor de la vegetación en el Área Metropolitana de Santiago

En función de lograr comprender la relación existente entre la temperatura superficial y el vigor vegetacional durante el año 2016 y 2021, se elaboró la Figura N° 27 y la Figura N° 28 respectivamente, donde se aprecian los principales cuatro tipos de relaciones existentes. Al observar los dos tipos de relaciones lineales, es posible notar que existe una mayor abundancia de relaciones negativas lineales, lo indica que, en dichas áreas, a mayor vigor vegetacional, menos es la temperatura de aquella

En ambos años se observa que, dentro de los cuatro tipos de correlaciones identificadas, existe un predominio en cuanto a su extensión de la función del tipo cóncava, siendo más abundante durante el año 2016. Esto quiere decir que hay una mayor tendencia a las relaciones complejas en cuanto a la relación existente entre el vigor vegetacional y la temperatura de las distintas manzanas del área de estudio.

Figura N° 27 Relaciones bivariantes locales entre Temperatura de Emisión Superficial y Vigor Vegetacional por manzanas año 2016



La correlación que presenta una función de tipo cóncava significa en este caso que la temperatura responde de forma cóncava en cuanto a su relación con el vigor vegetacional, es decir, aumenta de forma no lineal a medida que el vigor vegetacional aumenta y existe un cierto punto de esa curva, en que la relación existente se invierte y comienza a descender la temperatura en función del aumento del otro factor. Para un análisis más detallado es preciso analizar manzana a manzana en que parte de la curva de la función se localiza la relación.

Este tipo de comportamiento puede tener variadas explicaciones, por ejemplo, el predominio de la influencia de otros factores que pesan más sobre la variable de temperatura. Por otro lado, puede tener un peso relevante en el comportamiento de la temperatura, el tipo de vegetación presente en aquellas áreas. La distribución de esta relación es prácticamente homogénea en el territorio, siendo menos concentrada en la zona centro del AMS.

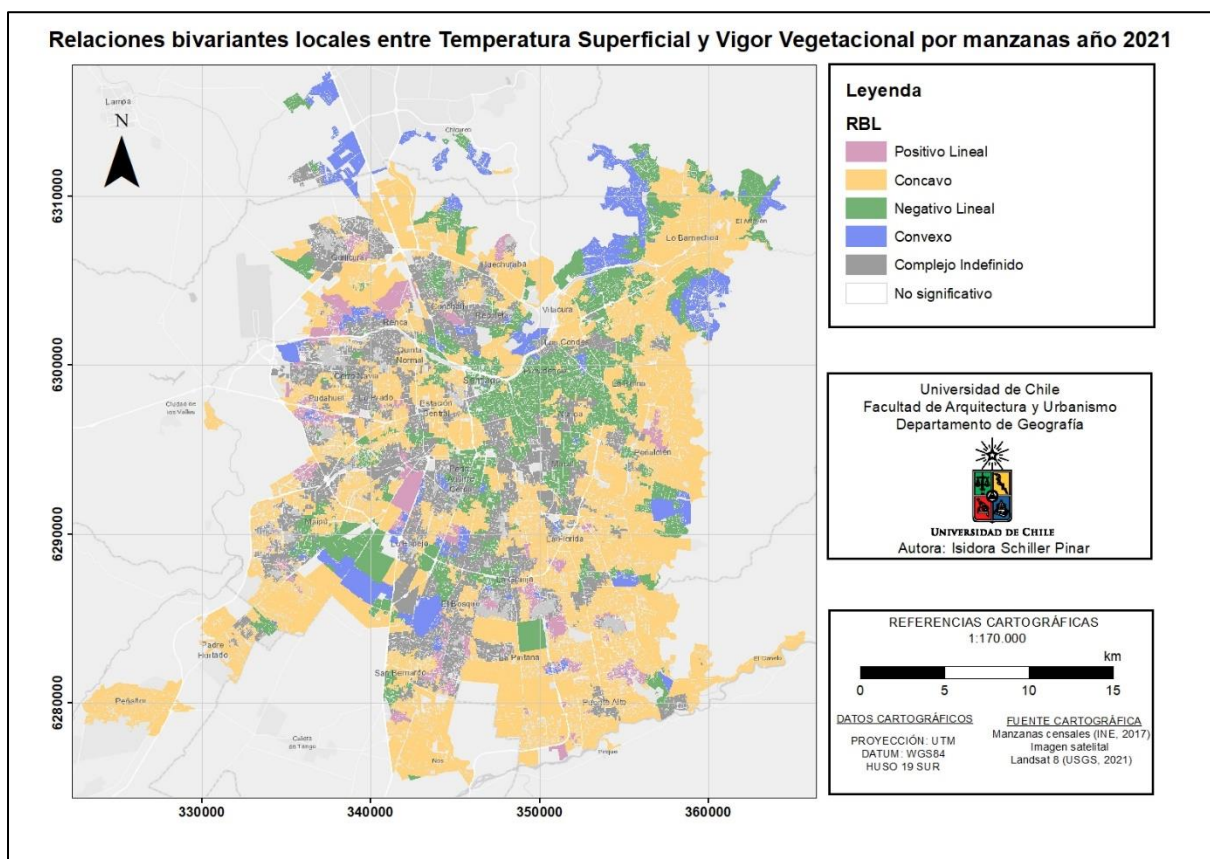
La siguiente función que tiene más importancia en el área de estudio, es la relación del tipo negativo lineal, las cuales son áreas donde la temperatura disminuye a medida que el vigor vegetacional aumenta. En cuanto a esta relación, en la teoría debería ser la función predominante en las áreas donde la vegetación es sana y vigorosa, ya que la vegetación en aquel estado tiende a ser un factor enfriador del ambiente. Sin embargo, al observar *Figura N° 27* y *Figura N° 28* se observa que no es una relación que se dé siempre y de forma constante. Esto puede deberse a distintos factores, por ejemplo, es posible que la vegetación tenga más influencia sobre la temperatura atmosférica que sobre la temperatura de emisión superficial.

De todas maneras, en estas áreas se aprecia entonces una relación lineal negativa, la cual no se encuentra distribuida uniformemente ni con un patrón claro identificable.

A continuación, el siguiente tipo de relación que tiene mayor predominancia en el territorio, es la función del tipo convexa, es decir, que la temperatura disminuye de forma no lineal a medida que aumenta el vigor vegetacional, hasta un cierto punto donde esta función se invierte o puede invertirse, comenzando a actuar de forma contraria. Es posible distinguir al comparar la *Figura N° 27* con la *Figura N° 28* que las áreas con correlación de este tipo disminuyeron desde el año 2016 al año 2021.

El cuarto tipo de relación y que se encuentra presente en menor medida para ambos años, es la relación del tipo positiva lineal, esto quiere decir que en este caso la temperatura aumenta a medida que el vigor vegetacional aumenta, este tipo de función puede deberse en mayor medida a factores como el tipo de vegetación presente en dichas áreas, por ejemplo, especies que tiendan a secar mucho el suelo o especies que acumulan temperatura durante el día, pero que sin embargo durante la noche tienden hacia el enfriamiento. De las cuatro relaciones principales, son las menos comunes y que menos se repiten a lo largo del territorio, encontrándose distribuidas de forma heterogénea.

Figura N° 28 Relaciones bivariantes locales entre Temperatura de Emisión Superficial y Vigor Vegetacional por manzanas año 2021



Por último, también se obtuvieron resultados del tipo complejo indefinido y no significativo. En el caso de las primeras, estas son áreas en que las variables si presentan una relación, sin embargo, son relaciones que no son posibles de explicar a través de las categorías presentadas anteriormente, es decir, se relacionan de forma más compleja. Por otro lado, existen áreas que presentan no presentan relaciones significativas estadísticamente.

En función de lo anterior, al comparar el año de inicio y de término del estudio de esta memoria, se demuestra que la forma en que la vegetación se relaciona con la temperatura superficial, no se da de forma constante en el tiempo, sino que es variable y dinámica.

4.3 Observatorio de bienestar ambiental

A través del siguiente enlace se puede acceder al story map y mapa web asociado a los resultados de esta memoria de título, en el cual se intentó reflejar los principales hallazgos y condiciones a destacar del área de estudio.

<https://storymaps.arcgis.com/stories/333ff49f435a4d6b84d32e2f62921410>

CAPÍTULO 5: DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

En la presente investigación se estudió e indagó en torno a dos factores importantes del análisis climático de las condiciones de una ciudad, como son la temperatura de emisión superficial y las condiciones vegetacionales, así como la relación entre dichos factores. Estos dos factores son solo algunos de los muchos que tienen incidencia en el comportamiento del clima local de las ciudades.

En el caso de la región metropolitana, existe un importante déficit en cuanto a la cantidad y disposición de áreas verdes, las cuales además se encuentran distribuidas de forma poco equitativa a lo largo de la ciudad, acrecentando las diferencias territoriales existentes relacionadas principalmente con factores socioeconómicos.

A partir de la información obtenida y recolectada, fue posible evidenciar la distribución de la temperatura de emisión superficial a lo largo del área metropolitana de Santiago y ver su evolución en los últimos seis años. En cuanto a lo anterior, fue posible observar los efectos del cambio climático y el calentamiento inminente de las áreas urbanas, donde se puede distinguir un aumento de temperatura en prácticamente toda el área estudiada.

Las áreas más cálidas durante todos los años estudiados se encuentran localizadas y concentradas principalmente en la zona nor-poniente del área de estudio y en general toda el área poniente resulta ser más cálida que la zona oriente. Las zonas céntricas tienden a ser las zonas con temperaturas medias y no concentran los extremos. En cuanto a las zonas más frías estas se encuentran localizadas principalmente hacia la zona nor-oriente de la ciudad.

El análisis de la temperatura superficial del área de estudio se llevó a cabo en dos escalas diferentes, con la idea de no excluir del estudio zonas que no son manzanas censables, considerando que estas pudieran tener vegetación o áreas verdes u otro tipo de condiciones, que pudieran ser significativas a la hora de estudiar la temperatura y la condición vegetal de un lugar. Sin embargo, este cambio de escala no resultó ser tan significativo, ya que los rangos tienden a mantenerse sin verse un efecto considerable al incorporar todo el territorio de forma continua.

En cuanto a las condiciones de la vegetación del AMS calculadas a través del NDVI, fue posible apreciar que existe una distribución muy similar a lo ocurrido con la temperatura superficial, ya que existe una concentración de las áreas con mejores condiciones en la zona oriente y principalmente nor-oriente de la ciudad. Los valores más bajos del índice tienden a concentrarse en la zona centro de la ciudad, pero toda la zona centro y poniente del área cuenta con condiciones bastantes bajas de vigor vegetal. En términos generales, al considerar la comparación del año de inicio y de término del estudio, se aprecia que existe una disminución de las condiciones vegetacionales en cuanto a su vigor y/o más áreas que no cuentan con vegetación.

En función de los resultados obtenidos en cuanto a la temperatura de emisión superficial y el vigor de la vegetación del AMS, se exponen las amplias diferencias que existen entre dos áreas

de la misma ciudad, lo cual al establecer una relación con las condiciones socioeconómicas de la ciudad, dan cuenta de la injusticia medio ambiental que alberga Santiago, donde las áreas con mejores condiciones ambientales, es decir, con temperaturas más frescas en verano y a su vez con mejores condiciones de vigor vegetacional, se encuentran en zonas que tienen niveles socioeconómicos más altos.

Por otro lado, también es importante destacar que situaciones como éstas donde las ciudades presentan condiciones tan heterogéneas, suelen darse en urbes que no han sido planificadas adecuadamente. La ciudad de Santiago es un claro ejemplo, de un área que no ha sido planificada, sino que más bien ha tenido un desarrollo espontáneo y desorganizado en función de las necesidades del mercado. La falta de planificación puede afectar las condiciones ambientales de una ciudad y por ende las condiciones de vida de las personas que habitan en ella. Es esencial invertir recursos y tiempo en materia de ordenamiento y planificación sensible al clima, con la finalidad de mitigar los efectos del cambio climático el cual tiene repercusiones tan potentes en las áreas urbanas.

Es esencial considerar la adaptación al cambio climático como un tópico clave para incorporar en la planificación y las políticas públicas de las ciudades, con el fin de mitigar los efectos producidos por el aumento de las temperaturas, tanto ambientales como superficiales tal como pudo evidenciarse en esta memoria.

En cuanto a la relación existente entre la temperatura superficial y el vigor de la vegetación, en esta investigación se evidencia que la forma en que se relacionan ambas variables no siempre ocurre de forma lineal negativa como supondremos que debería ocurrir. Si bien una abundante y vigorosa vegetación debería disminuir las temperaturas del área, esta última se encuentra condicionada por muchos más factores que solamente la vegetación, factores que muchas veces tiene más importancia y peso sobre ella.

Por último, es esencial recalcar la importancia de elaborar y poner a disposición la información a través de una forma de visualización simple y sencilla, que permite que cualquier persona pueda acceder a datos y conocimiento sin la necesidad de tener que leer un artículo o una memoria de título completa. La elaboración de mapas web permite acercar a las personas a diferentes áreas que no necesariamente son de su trabajo, permite generar interés en disciplinas que poseen un gran aporte a la sociedad y que quizás no se encuentran tan visibilizadas como otras. Permite también generar interés en el conocimiento científico y acercar a la gente al estudio de distintos y variados contenidos.

Así como la ciencia y el conocimiento avanza, es importante avanzar con ella e incorporarse a las nuevas formas de entregar información, los mapas web han resultado ser una herramienta tremendamente potente la cual ha adquirido fuerza en Chile durante los últimos cinco años, incorporándose a las páginas web oficiales de organismos públicos y privados con el fin de democratizar la información y entregar conocimiento al común de la población. Es por esta razón que el fin último de esta memoria es entregar una herramienta que sea de utilidad para el Departamento de Geografía y así también poder incorporar y subir más y nueva información actualizada, a medida que esta se vaya generando.

BIBLIOGRAFÍA

Barradas, V. L. (enero de 2013). La isla de calor urbana y la vegetación arbórea. *Ikos* (7).

Barton, Jonathan R. (2009). Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regiones. *Revista de geografía Norte Grande*, (43), 5-30. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022009000200001>

Cuadrat, J. M., Vicente-Serrano, S. M., & Saz Sánchez, M. A. (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 Españoles* (40), 311-327. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/28097059>

Galindo-Bianconi, Andrés Salvador, & Victoria-Uribe, Ricardo (2012). La vegetación como parte de la sustentabilidad urbana: beneficios, problemáticas y soluciones, para el Valle de Toluca. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 14(1),98-108. [fecha de Consulta 1 de febrero de 2022]. ISSN: 1405-8626. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40123894006>

Córdova, K. (2011). Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano en el ambiente y la salud humana. *Revista Terra Vol. XXVII, N°42*, 95-122.

CEPAL. (agosto de 2012). Notas de la CEPAL. Obtenido de <https://www.cepal.org/notas/73/Titulares2>

Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas. (2018). *Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo*. Nueva York.

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*, 3(1), 17-38.

Ermida, S.L., Soares, P., Mantas, V., Götsche, F.-M., Trigo, I.F., (2020). Google Earth Engine open-source code for Land Surface Temperature estimation from the Landsat series. *Remote Sensing*, 12 (9), 1471; <https://doi.org/10.3390/rs12091471>

ESRI. (2022). Relaciones bivariantes locales (Estadística espacial). Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/localbivariaterelationships.htm>

Fernandez, F., & Martilli, A. (2012). El Clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid. 21-24.

Fernández Sarría, A. (2018). *Cálculo de temperatura de superficie a partir de imágenes NOAA, LANDSAT Y SENTINEL-3*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.

Flores-De la O., J. L., Villanueva-Solis, J., & Quiroa-Herrera, J. A. (julio de 2018). Evaluación de los efectos microclimáticos que tiene la vegetación en la mitigación de la isla de calor urbana: Parque en la ciudad de Torreón, México. *Revista de ciencias ambientales*, 52(2). Obtenido de www.revistas.una.ac.cr/ambientales

Howard, L. (1833). *The Climate of London*. International Association for Urban Climate.

IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Martini, A., Biondi, D., y Batista, A. C. (2017). Urban forest components influencing microclimate and cooling potential. *Revista Árvore*, 41(6), e410603. doi: 10.1590/1806-90882017000600003

Montes, C. (21 de abril de 2019). Cambio climático: el implacable aumento de la temperatura en Chile. *La Tercera*. Obtenido de <https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/cambio-climatico-implacable-aumento-la-temperatura-chile/623054/>

Moya, D. (2020). Propuesta de reducción del efecto Isla de Calor Urbano Superficial (ICUS) en la ciudad de Curicó. Santiago.

Nowak, D., Dwyer, J., & Childs, G. (1997). Los beneficios y costos del enverdecimiento urbano. En B. I. Desarrollo, *Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe* (págs. 17-38).

Nursen Kaya & Onur Mengi, *How Sensitive We Build to Climate? Design for Comfortable Urban Environment*, 47th ISOCARP Congress 2011

Oke, T., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. (2017). *Urban climates*. Cambridge: Cambridge University Press.

ONU-Hábitat (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamiento Humanos) (2011b), *Global Report on Human Settlements 2011: Cities and Climate Change*, Nairobi.

ONU-HABITAT. *Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe. Rumbo a la nueva transición urbana*. Rio de Janeiro: ONU-HABITAT, 2012.

Pérez González, M. E., García Rodríguez, M. P., & Guerra Zaballos, A. (mayo de 2003). Análisis del clima urbano a partir de imágenes de satélite en el centro peninsular español. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* (23), 287-206. Obtenido de <http://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/AGUC0303110187A/31093>

Salas, M., & Herrera, L. (2017). La vegetación como sistema de control para las islas de calor urbano en la ciudad Juárez, Chihuahua. *Revista Hábitat Sustentable* Vol. 7 N° .1. ISSN 0719-0700, 14-23.

Sarricolea, P., Aliste, E., Castro, P. y 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*. Vol 8. Pág. 71-84

Sarricolea, Pablo & Romero, Hugo. (2010). Análisis de los factores condicionantes sobre las temperaturas de emisión superficial en el área metropolitana de Valparaíso, Chile. *Architecture*.

Sarricolea, P., Herrera-Ossandon, M. & Meseguer-Ruiz, O. (2017) Climatic regionalisation of continental Chile, *Journal of Maps*, 13:2, 66-73, DOI: [10.1080/17445647.2016.1259592](https://doi.org/10.1080/17445647.2016.1259592)

Smith, P., & Henríquez, C. (2021). Propuesta de un indicador para evaluar la calidad climática urbana: estudio de caso en una ciudad media mediterránea chilena. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 30(1), 144-157.

Tzavali, A., Paravantis, J., Mihalakakou, G., Fotiadi, A., & Stigka, E. (2015). Urban Heat Island Intensity: A literature review. *Fresenius Environmental Bulletin*, 4537-4554

Vieyra, L. (13 de septiembre de 2021). *Conozca cuáles son las comunas 100% urbanas y 100% rurales del país*. INE. Obtenido de <https://www.ine.cl/prensa/2021/09/13/conozca-cu%C3%A1les-son-las-comunas-100-urbanas-y-100-rurales-del-pa%C3%ADs>