



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

TEMPERATURA SUPERFICIAL Y TIPOLOGÍAS DE DISEÑO URBANO –  
RESIDENCIAL, RELACIÓN A MICROESCALA CLIMÁTICA, CASO DE LA  
COMUNA DE RENCA, COMO BASE PARA LINEAMIENTOS DE DISEÑO URBANO  
SENSIBLE AL CLIMA

Memoria para optar al título de Geógrafo  
FRANCISCO JAVIER ROCO CASTILLO  
Profesora Guía: Dra. Pamela Smith

SANTIAGO – CHILE  
2022

## Agradecimientos

Dedico estas palabras de agradecimiento, a los compañeros más cercanos que estuvieron a mi lado en esta etapa no exenta de dificultades, también debo entregar reconocimiento a los profesores que acompañaron mi labor, especialmente a mi profesora guía Pamela y no menos importante al equipo de trabajo de FONDEF IDeA por las contribuciones teóricas. Finalmente, agradecer a mis padres y a mi tía, los pilares más importantes en este proceso.

## Resumen

Con las implicancias del desarrollo urbano se ha abierto un amplio abanico de estudios destinados a comprender el comportamiento microclimático asociado a la urbanización, las posibles medidas locales de mitigación, adaptación y el diseño de una planificación ambiental urbana con mirada prospectiva y centrada en las personas.

En el tejido residencial tienen lugar los espacios exteriores inmediatos a las viviendas y los microclimas en torno a los cuales se desenvuelven los habitantes. La escala de manzana y cañón urbano intercambia constantemente energía con la escala de predios y espacios interiores, de este modo el entorno de la vivienda constituye un área intermedia caracterizada por microclimas que resultan de la combinación de elementos como la calle y el arbolado. Su estudio permite, en última instancia, respaldar medidas de planificación local y propuestas de diseño pasivo en espacios interiores o exteriores, a escala humana propiamente tal.

De este modo, sobre la base de los productos propiamente construidos y los productos parciales del proyecto FONDEF IDeA ID20I10378 “Modelo de simulación del clima urbano para apoyar la toma de decisiones de planificación sensible al clima en Chile” (2020-2022), se realizó un trabajo de investigación en la comuna de Renca, donde se analizaron datos termales procedentes de vehículos aéreos no tripulados (VANT), efectuando un análisis comparativo sobre una serie de escenarios de diseño urbano residencial respecto al parámetro temperatura superficial y su relación con el índice de vegetación (NDVI), atributos propios de la morfología urbana como el Factor de Cielo Visible (SVF), la fracción altura y ancho (H/W), la densidad de viviendas, el volumen por área y la arborización.

Se profundizó en el análisis a microescala, donde a partir de la superficie agregada de todos los escenarios residenciales, se encontró una relación inversa entre NDVI y temperatura superficial, con lo que se demuestra la importancia de las condiciones de la cobertura vegetal, especialmente el arbolado para reducir las temperaturas. En los descriptores de morfología urbana, se encontró una relación inversa o negativa con la fracción altura y ancho (H/W), de lo cual se desprende que el predominio de la altura o el menor ancho del cañón urbano pueden favorecer temperaturas más bajas, al contrario del Factor de Visión de Cielo, que describió una relación positiva, dejando en evidencia que la mayor abertura a la exposición favorece condiciones más cálidas durante el día. Respecto a la comparación de temperaturas medias individualizadas por cada escenario residencial, hubo casos que no responden a la tendencia descrita, existiendo valores termales que no se explican totalmente con los descriptores antes mencionados, lo cual se debió a propiedades de las superficies relativas a la materialidad, principalmente la cubierta de techos. Finalmente, a partir de los datos a microescala, se observaron diferencias internas dentro de una misma Zona Climática Local (ZCL), mientras los contrastes entre las Zonas Climáticas locales (ZCL) de alta densidad y media altura (B2) y de alta densidad y baja altura (B3), fueron reconocibles tanto en la imagen satelital como en la imagen captada por vehículo aéreo no tripulado (VANT).

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN .....	6
1.1- Introducción .....	6
1.2- Planteamiento del problema.....	8
1.3- Objetivos .....	10
1.3.1- Objetivo general.....	10
1.3.2- Objetivos específicos .....	10
1.4- Área de estudio .....	11
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO .....	13
2.1- Principios climáticos e intercambio térmico.....	13
2.2- Fenómenos climáticos y escala .....	14
2.3- Microclimas y diseño urbano.....	16
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA .....	20
3.1- Selección casos de estudio .....	20
3.2- Levantamiento de imágenes aéreas.....	23
3.3- Procesamiento de imágenes de dron y obtención de temperatura superficial.....	25
3.4- Obtención de valores termales a partir de polígonos y análisis de temperatura superficial (VANT).....	28
3.5- Cálculo de indicadores urbanos .....	29
CAPÍTULO 4: RESULTADOS .....	31
4.1- Características ambientales y urbanas.....	31
4.2- Temperatura satelital y temperatura obtenida mediante VANT .....	35
4.3- Temperatura superficial VANT en escenarios urbanos .....	38
4.4- Relación entre temperatura superficial y características urbanas .....	42
4.4.1- Índice de vegetación de diferencia normalizado o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) .....	42
4.4.2- Factor de visión de cielo o Sky View Factor (SVF) .....	45
4.4.3- Factor Alto / Ancho (H/W) .....	48
4.4.4- Densidad de viviendas y volumen por área.....	50
4.4.5- Arborización urbana.....	52
4.5- Escenarios residenciales y lineamientos de diseño urbano .....	53
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES.....	56
5.1- Características urbanas en escenarios residenciales y temperatura superficial.....	56

5.2- Escala urbana y condiciones microclimáticas.....	57
BIBLIOGRAFÍA.....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1 Área de estudio.....	12
Figura N°2. Escalas temporales y espaciales de fenómenos climáticos.....	15
Figura N°3. Esquema metodológico .....	20
Figura N°4. Esquema de Zonas Climáticas Locales .....	22
Figura N°5. Unidad de trabajo .....	23
Figura N°6. Preparación de inicio de vuelo .....	24
Figura N°7. Áreas programadas para sobrevolar con dron, en la comuna de Renca .....	24
Figura N°8. Sobrevuelo de dron en aplicación DJPilot.....	25
Figura N°9. Puntos de control en la imagen termal de dron para las zonas sobrevoladas en Renca.	26
Figura N°10. Proceso de conversión de imagen termal del dron a temperatura superficial en grados Celsius (°C). .....	28
Figura N°11. Unidades urbanas. ....	31
Figura N°12. Tipología de trama urbana para la comuna de Renca.....	32
Figura N°13. Temperatura superficial promedio y Zonas Climáticas Locales. ....	33
Figura N°14. Temperatura superficial (°C) en los escenarios urbano - residenciales.....	36
Figura N°15. Escenarios urbano-residenciales en la comuna de Renca.....	39
Figura N°16. NDVI para escenarios urbano-residenciales .....	44
Figura N°17. Factor de Visión de Cielo (SVF) para escenarios urbano - residenciales en la comuna de Renca. ....	47
Figura N°18. Factor Altura y Ancho (H/W) para escenarios urbano - residenciales en la comuna de Renca.....	50

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1. Comportamiento de la temperatura de emisión satelital según Zonas Climáticas Locales (ZCL) .....	34
Gráfico N°2. Variabilidad de la temperatura satelital y temperatura superficial captada por vehículo aéreo no tripulado VANT (dron).....	35

Gráfico N°3. Temperatura satelital promedio de verano y Temperatura superficial de vehículo aéreo no tripulado (VANT) por escenario urbano. ....	37
Gráfico N°4. Temperaturas superficiales promedio a microescala para diferentes elementos urbanos. ....	38
Gráfico N°5. Resumen de temperaturas superficiales promedio para los escenarios urbano-residenciales a escala conjunta y predial. ....	40
Gráfico N°6. Relación entre Temperatura superficial y NDVI.....	42
Gráfico N°7. Temperatura superficial y NDVI por escenario urbano .....	43
Gráfico N°8. NDVI y arbolado por escenario urbano.....	43
Gráfico N°9. Relación entre Temperatura superficial y SVF .....	45
Gráfico N°10. Temperatura superficial y SVF por escenario urbano .....	46
Gráfico N°11. Relación entre Temperatura superficial y Factor Altura / Ancho (H/W) .....	48
Gráfico N°12. Temperatura superficial y factor H/W por escenario urbano .....	49
Gráfico N°13. Temperaturas superficiales mínima, media y máxima y factor N° viviendas / ha, por cada escenario urbano. ....	51
Gráfico N°14. Temperaturas superficiales mínima, media y máxima y factor Volumen / Área, por cada escenario urbano. ....	51
Gráfico N°15. Arbolado y factor N° viviendas / ha, por escenario urbano.....	52
Gráfico N°16. Arbolado y factor Volumen / Área, por escenario urbano.....	52

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1. Criterios de selección para el área de estudio. ....	21
Tabla N°2. Cuadro resumen de tipología de trama urbana .....	21
Tabla N°3. Puntos de control con temperatura y valores RGB .....	27
Tabla N°4. Lineamientos de diseño urbano .....	55

## CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

### 1.1- Introducción

En la superficie terrestre, existen fenómenos inherentes a la topografía natural y otros artificiales como la urbanización. La urbanización a diferencia de la topografía depende del ser humano y marca parte importante de las características de la superficie en lo que respecta al área ocupada por la ciudad. Al mismo tiempo que se adapta a la geografía que le impone el territorio, modifica los atributos de la cobertura del suelo.

La importancia de la ciudad como sistema humano frente al cambio climático amerita especial énfasis considerando la expansión proyectada de las zonas urbanas. El 79,5% de la población vive en ciudades en América Latina y el Caribe (UN-HABITAT, 2011), al tiempo que según el censo 2017 en Chile las ciudades albergan el 87,8% (INE, 2018). Como las zonas urbanas se emplazan en la superficie terrestre y esta se relaciona directamente con la atmósfera, la urbanización cumple un rol determinante en la dimensión climática. Entre los efectos producidos por los cambios en el uso de suelo se encuentran las alteraciones en el albedo, la evapotranspiración y las fuentes de gases de efecto invernadero (IPCC, 2014).

La alteración de las condiciones climáticas ha propiciado cambios en la variabilidad espacial de parámetros como la temperatura, describiendo diferencias verticales y horizontales a nivel de atmósfera y superficie respectivamente (Oke et al., 2017). Esto se expresa a escalas urbano-regionales y con fenómenos como las islas de calor atmosférico y superficial, donde las emisiones de calor antropogénico y las características de la cobertura del suelo son fundamentales para explicar los contrastes respecto al entorno no urbano. Sin embargo, esta variabilidad también se puede extender a la escala local y microescala. A pequeña escala, los contrastes en la superficie y la interacción por intercambio radiativo y de advección son propiciados por elementos que cuentan con diferentes balances de energía (Arnfield, 2003). Este comportamiento heterogéneo de los parámetros climáticos, requiere del estudio de la morfología y la materialidad urbana.

Respecto a la interacción entre morfología urbana y medio ambiente, Cárdenas (2012) menciona que, las acciones relativas a mejorar la habitabilidad se consiguen mediante una mayor comprensión de la influencia de la configuración urbana sobre el microclima. En esta misma dirección, las consecuencias ambientales de la urbanización tienen implicancias a escala humana, por lo que han motivado el estudio de dimensiones como la eficiencia energética y el confort térmico. En consecuencia, al aproximarse a la escala de los residentes, queda en evidencia la necesidad de estudios relativos a la composición de la vivienda y la configuración del espacio público.

Más concretamente, lo anterior se puede plasmar en el área de la arquitectura y el urbanismo bioclimático, contribuyendo con propuestas de eficiencia energética mediante el diseño pasivo. A nivel nacional resulta necesario abordar el tema no solo a nivel de la vivienda sino también extenderlo al entorno urbano residencial (Cárdenas, 2012). Precisamente los espacios exteriores a la vivienda pueden ser materia de interés público. Para Higuera (1998) dentro de los lineamientos comunes de los planes de desarrollo con miras a favorecer el equilibrio del desarrollo urbano con el medio

ambiente, se encuentra el potenciamiento de los espacios urbanos libres, mediante los cuales moderar las condiciones ambientales extremas y al mismo tiempo favorecer espacios de uso social.

En el contexto de la morfología urbana, las diferentes formas resultan de procesos de crecimiento y gestión, que cambian con el tiempo y según las condiciones de cada ciudad (Ospina & Vásquez, 2020). De esta manera, el diseño urbano responde a las condiciones locales de la ciudad a distintos niveles, la dimensión histórica de los habitantes, los procesos modernos de urbanización, las políticas de ordenamiento territorial y el ámbito estético de los espacios urbanos, son algunos de los factores que han definido determinado patrón de ordenamiento. Dichas modificaciones urbanas han tenido su correlato en los fenómenos climáticos. Las características espaciales y diversidad en la forma de las islas de calor dependen de las diferentes morfologías urbanas y del territorio en el cual se inserte la ciudad (Moreno, 2010).

Es así que con miras a enfrentar de mejor manera el cambio climático se ha desarrollado el enfoque de adaptación, que de acuerdo al IPCC (2014) corresponde a las acciones que facilitan un ajuste respecto al clima real y sus proyecciones, para los sistemas humanos se busca evitar el daño y aprovechar las oportunidades. En definitiva, en la zona urbana, el ser humano busca formas para mantenerse relativamente aislado de los impactos más extremos del clima.

En la presente memoria se expondrá la relación entre la morfología de sectores residenciales y la temperatura superficial promedio a microescala captada por Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT). Entre otros puntos a considerar, se devela la importancia del concepto de escala para explicar el comportamiento del parámetro climático y extraer conclusiones al respecto, aquí los elementos urbanos individuales y agrupados contribuyen diferencialmente con la distribución de la temperatura dentro de una misma zona o entre zonas urbanas morfológicamente distintas. De esta forma, se procedió con el trabajo sobre casos a escala de conjuntos habitacionales distribuidos en el sector surponiente y suroriente de Renca.



## 1.2- Planteamiento del problema

Las características del crecimiento urbano en Santiago de Chile han propiciado el reemplazo de las cubiertas naturales y seminaturales, por superficies construidas con diferente diseño urbano (Romero & Molina, 2007). En consecuencia, una de las implicancias sobre el medio ambiente corresponde a la alteración de las temperaturas en la ciudad. El interés por el estudio de las islas de calor en Santiago entre otras razones, surge de la proyección en el incremento de las temperaturas globales. Milner et al. (2017) destaca los aumentos térmicos proyectados en ciudades de clima templado y de latitudes medias y altas. En el contexto climático regional y nacional, se esperan aumentos de temperatura y disminución de precipitaciones, principalmente en zona central y cordillerana (Universidad de Chile, 2006).

Desde la geografía ha habido interés por evidenciar los factores ambientales y urbanos multiescalares que influyen en la intensidad y configuración espacial de las islas de calor urbanas (ICU), lo que explicaría también la utilidad de los trabajos sobre microclimatología. Estos últimos, vienen a complementar la investigación, aproximándose al entorno de los habitantes mediante el estudio de factores propios de la microescala, al mismo tiempo que proporcionan información destinada a la toma de decisiones. En consecuencia, Mills et al. (2010) menciona que, en el contexto del diseño urbano, se requiere de información meteorológica respecto al microclima generado bajo diferentes escenarios.

Las imágenes satelitales han sido útiles para medir las temperaturas superficiales. La información de parámetros climáticos como la temperatura de emisión en superficie, es posible obtenerla mediante imágenes satelitales en resoluciones medias o bajas (Smith et al., 2021). Este parámetro ha sido analizado estadísticamente a la luz de las variables de vegetación, humedad o reflectividad (Peña & Romero, 2006). Sin embargo, desde otro enfoque, Guzmán (2018) destaca la versatilidad del uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT) y las cámaras térmicas en cuanto a su autonomía para estudios científicos.

Por otra parte, diferentes zonas climáticas locales describen comportamientos climáticos dispares, sin embargo, esto no supone una distribución homogénea de todos los parámetros dentro de una misma zona, ya que pueden existir variaciones internas a microescala, que en un análisis a escala local o mesoescala no son distinguibles. En el caso de Renca y sobre la base de la información disponible en el proyecto FONDEF IDeA ID20I10378 “Modelo de simulación del clima urbano para apoyar la toma de decisiones de planificación sensible al clima en Chile” (2020-2022) un 32,9% de la comuna describe los rasgos de una zona climática local de alta densidad compacto de baja altura (B3), lo que coincide con el uso residencial. Mediante imágenes satelitales a escala local es posible conocer claras diferencias entre usos de suelo y zonas climáticas locales, sin embargo, esto no se repite a microescala donde posiblemente existan cambios necesarios de estudiar para explicar la contribución del diseño urbano sobre el clima.

Para Higuera (1998) en las ciudades existe una red de espacios libres que representan una variable del medio urbano que integra los sistemas locales de espacios libres y zonas verdes a escala de barrio. En este contexto, las áreas verdes públicas por habitante en la comuna de Renca no cumplen con el

estándar propuesto por la OMS de 9 m<sup>2</sup>, contando solo con 4,58 m<sup>2</sup> y perteneciendo al 51% de aquellas bajo los 5m<sup>2</sup>/hab que forman parte del SIEDU, también cabe mencionar que dispone de 2,73 m<sup>2</sup> en plazas públicas por habitante que cumplen con estándares de distancia (INE, 2018), lo cual adquiere valor al hablar de estrategias de diseño urbano que enfrenten el cambio climático y mejoren la calidad de los espacios públicos exteriores. Así es como dentro de la zona residencial, existen variaciones internas caracterizadas por cambios en la orientación, la morfología de las manzanas, la presencia de arbolado y la conformación de las viviendas. Por consiguiente, resulta de interés conocer la existencia o no de factores propios del rango entre manzana y predio que propicien un comportamiento heterogéneo del clima. Cabe mencionar que dentro de lo que comprende dicha interfaz se encuentra el espacio público, un tipo de espacio urbano que complementa el nivel de predios individuales mediante buenas condiciones ambientales exteriores que favorecen el esparcimiento y relación social de los residentes.

Por los antecedentes expuestos anteriormente es que resulta relevante explorar el comportamiento de la temperatura superficial y los alcances del trabajo a microescala a través de un análisis comparativo efectuado para una serie de esquemas de diseño urbano residencial. Esto permitiría contribuir con el conocimiento de la variable temperatura en la comuna de Renca, además de entregar una aproximación al estudio de escenarios favorables y desfavorables desde el punto de vista climático.

### **1.3- Objetivos**

#### **1.3.1- Objetivo general**

- Evaluar el comportamiento de la temperatura superficial en la comuna de Renca y su relación con distintas tipologías de diseño urbano, como base para proponer lineamientos de diseño urbano sensible al clima.

#### **1.3.2- Objetivos específicos**

- Analizar el comportamiento de la temperatura superficial diurna de verano a micro escala.
- Identificar la relación de la temperatura superficial con distintas tipologías de diseño urbano residencial.
- Proponer lineamientos de diseño urbano en escenarios residenciales.

## 1.4- Área de estudio

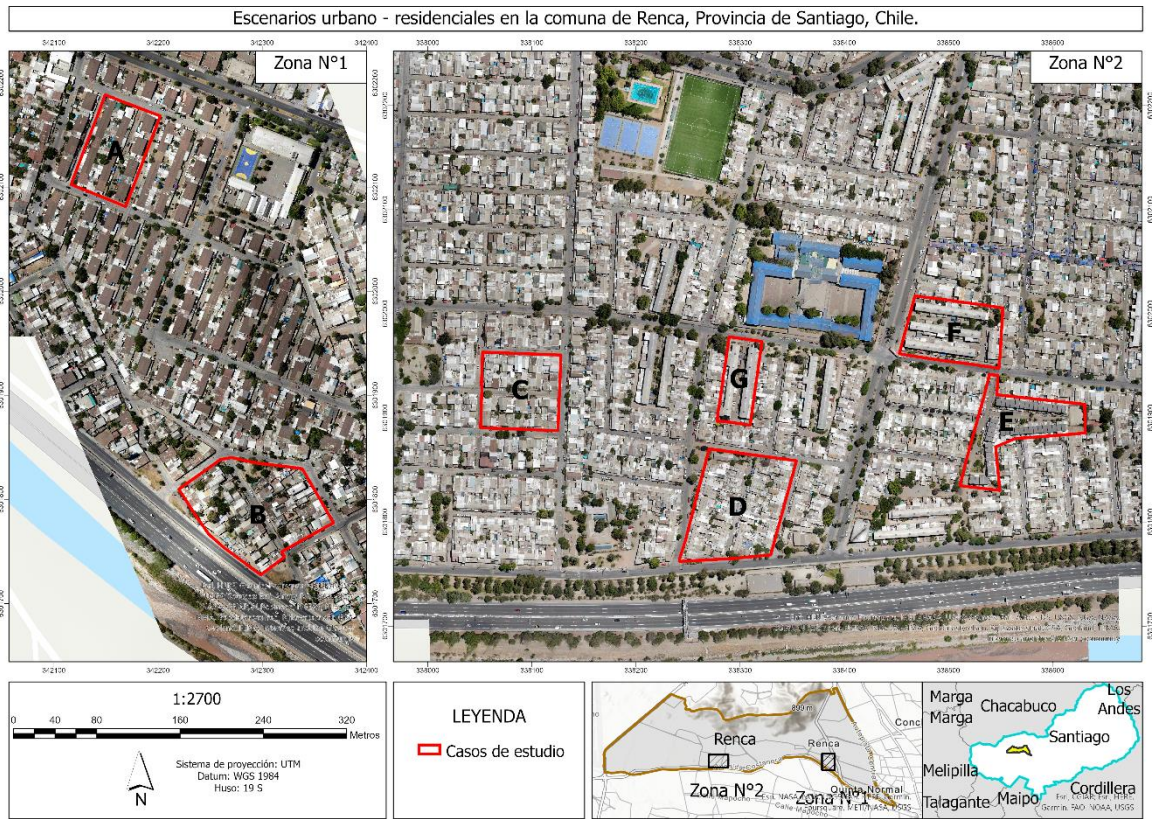
Ubicada al norponiente de la ciudad de Santiago y la provincia del mismo nombre, con coordenadas 33°24'00" Sur y 70°44'00" Oeste, y altitud 497 msnm, la comuna de Renca limita al norte con Quilicura, al sur con Cerro Navia y Quinta Normal, con Pudahuel por el oeste y en el este Conchalí. Tiene una superficie de 24.0 km<sup>2</sup> (BCN, 2021) y cuenta con 147.151 habitantes (INE, 2017), de los cuales el 26,25% se encuentra en situación multidimensional de pobreza (CASEN, 2015). La comuna presenta un total de 43.174 viviendas (INE, 2017). Respecto a la vialidad, existen autopistas por la extensión de los límites de Renca, en el sector sur Costanera Norte, al poniente Vespucio Norte, al oriente Ruta 5 sur y también se encuentra dividida por la autopista central, trayendo consigo cierta dificultad en los flujos de ingreso y salida, a lo cual se suma la discontinuidad de algunas calles dentro de la comuna.

Respecto a las características de las edificaciones y usos de suelo, predomina el uso de suelo residencial y la mayor cantidad de viviendas corresponde a conjuntos habitacionales de baja altura, dos a tres pisos, respecto a los conjuntos de mediana altura destacan las viviendas sociales de tres pisos. La densidad establecida de habitantes, oscila entre 150 y 450 hab/ha y de acuerdo a la actualización del PRC (2022) esta fluctuará entre los 350 y 1200 hab/ha.

Sobre el medio urbano y ambiental, cabe mencionar que la comuna de Renca cuenta con menos áreas verdes consolidadas y forestadas accesibles por persona respecto al total establecido por la planificación territorial, de esta forma entre las áreas verdes consolidadas, deterioradas y normadas totalizan 17,8 m<sup>2</sup>/habs, pero como se mencionó anteriormente las áreas verdes por habitante llegan a 4,58 m<sup>2</sup> (INE, 2018) y aquellas efectivamente consolidadas, forestadas y accesibles por persona llegan a 3,5 m<sup>2</sup> de acuerdo al Centro de Políticas Públicas UC (2017), es decir, en este análisis, también se deben considerar, las condiciones, las dimensiones, la distribución y la accesibilidad. Respecto al contexto climático, Sarricolea et al. (2022) expone las islas de calor superficial en Santiago, donde Renca corresponde a una de las más relevantes, pues se encuentra dentro de las comunas más cálidas, respecto a la distribución espacial promedio de día y de noche.

Según criterios climáticos y morfológicos, el área de estudio se subdividió en dos zonas, zona N°1 y zona N°2, dentro las cuales existen sectores de la Zona Climática Local Compacta de alta densidad y media altura (B2) y Compacta de alta densidad y baja altura (B3). De esta forma, se encontrará la zona N°1 ubicada al suroriente y la zona N°2 ubicada en el surponiente, dentro de ellas se exploró una serie de 7 casos de estudio o escenarios urbano - residenciales a escala de manzana (Figura N°1).

Figura N°1. Área de estudio



Fuente: Elaboración propia, 2022

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

### 2.1- Principios climáticos e intercambio térmico

Respecto al enfoque de superficie urbana y en base a los conceptos de Oke et al. (2017) en la presente investigación se utiliza la perspectiva correspondiente a la vista en plano o visión de pájaro, caracterizada por un enfoque vertical sobre el sistema urbano, es por ello que no se representan las paredes y el área bajo los árboles. La superficie urbana está relacionada con las condiciones climáticas, dicha relación se establece a partir de los diferentes intercambios energéticos. A continuación, se revisan los conceptos de balance energético, temperatura superficial, superficie urbana, escala y unidades urbanas.

De acuerdo a esto y atendiendo al concepto de temperatura superficial, según planteamientos de Voogt & Oke (2003) su importancia para la climatología urbana radica en su función sobre la temperatura del aire en las capas bajas de la atmósfera, en el balance energético de la superficie, en los climas de espacios interiores y en los intercambios de energía de importancia para los habitantes. Por otra parte, como señala Rizwan et al. (2008) a diferencia de indicadores como la isla de calor urbana (ICU), el balance de energía superficial parece ser más apropiado para comprender el calor generado por varias fuentes generadores de calor. Por su parte, el concepto de superficies activas del sistema urbano utilizado por Oke et al. (2017), permite comprender cómo determinados elementos con dimensiones, formas, tejidos y propiedades particulares influyen en los flujos de energía y balance térmico a distintos niveles, siendo estos responsables de la conformación de microclimas, de esta forma, las superficies activas constituyen unidades urbanas correspondientes a; faceta, elemento, cañón, manzana, barrio, ciudad y región urbana, y desde un punto de vista físico y climático, las propiedades atribuibles a dichas superficies corresponden a aquellas de tipo geométricas, aerodinámicas, radiativas, propiedades de humedad y térmicas:

- 1.- *Geométricas*: Propiedades relativas a la orientación y la apertura del cielo. Las sombras generadas pueden significar una regulación de las temperaturas superficiales.
- 2.- *Radiativas*: Propiedades relativas a la capacidad de reflejar onda corta y onda larga, y la emisión de onda larga.
- 3.- *Aerodinámica*: Proporcionan resguardo de la influencia o aportes del viento.
- 4.- *Térmicas*: Incluyen la conductividad térmica y la capacidad calorífica.
- 5.- *Humedad*: Relativa a los mecanismos de pérdida de calor mediante el flujo de calor latente.

Las propiedades anteriores están contenidas en una serie de unidades urbanas, teniendo efectos en el balance energético. Con este fin se recogen nuevamente los planteamientos de Oke et al. (2017) quien profundiza en el concepto de los elementos más importantes que configuran el balance de energía en la ciudad:

#### 1.- *Facetas*:

- a.- *Techos*: El material de sus superficies presenta un bajo albedo y una alta emisividad. La absorción de radiación diurna provoca temperaturas superficiales altas y en su parte exterior presentan mayor variación diurna.

*b.- Calles:* Los materiales de pavimentación presentan una admitancia térmica mayor que los techos.

*c.- Césped:* Las propiedades de energía derivan de la humedad contenida respecto a otras facetas.

*d.- Paredes:* Corresponde a una faceta vertical y su balance de energía superficial obedece a la orientación, la vista aérea, la exposición y el acceso solar. Pueden propiciar capas de aire cálido ascendente por sus diferencias con la temperatura del aire.

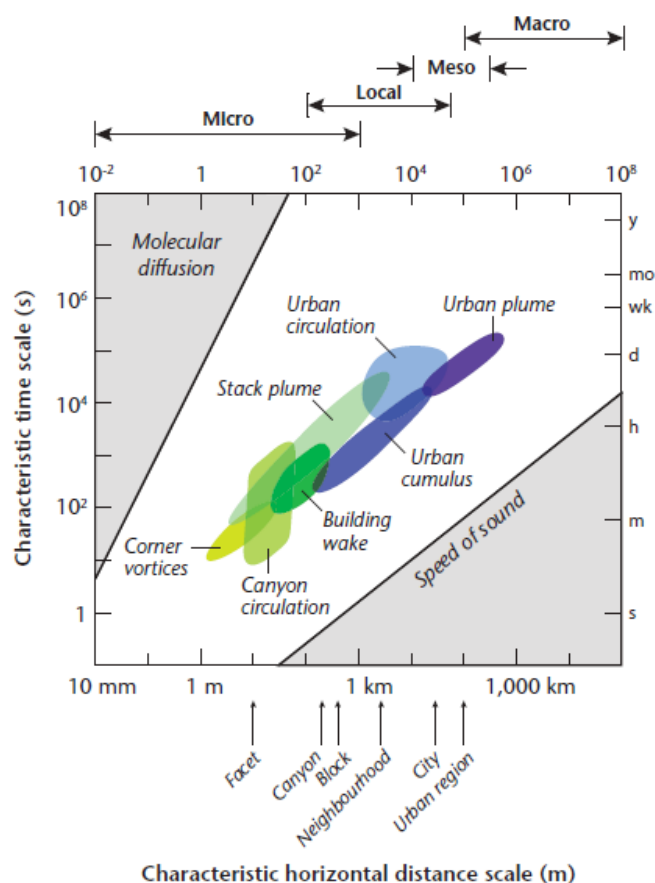
2.- *Edificios:* Los aspectos constructivos, su entorno, el clima, la estación, los habitantes y los usos condicionan su balance energético. Los intercambios internos por un lado redistribuyen la energía en el edificio y por otro obedecen a las condiciones climáticas del exterior.

3.- *Cañones urbanos:* Su forma se encuentra repetidamente en los paisajes urbanos, con variaciones en la geometría, propiedades térmicas y de humedad.

## **2.2- Fenómenos climáticos y escala**

La superficie urbana se organiza a partir de una jerarquía de escalas donde tienen lugar las unidades urbanas, su unidad fundamental corresponde a las facetas que se articulan para crear elementos, los cuales componen bloques o manzanas que agrupadas forman los barrios, del conjunto de los barrios emerge la escala de ciudad (Oke et al., 2017). El concepto de unidades urbanas resulta útil para organizar espacialmente el estudio de la superficie urbana, sus climas locales, microclimas y los fenómenos climáticos predominantes. Las unidades urbanas además ocupan un lugar en el marco de las escalas temporales y espaciales horizontales descritas por Oke et al. (2017) (Figura N°2):

Figura N°2. Escalas temporales y espaciales de fenómenos climáticos



Fuente: Oke et al. (2017)

En concordancia con lo expuesto, se desprende que los fenómenos climáticos y sus procesos causantes se pueden explicar bajo una determinada escala o bajo una mirada multiescalar. En este sentido, los parámetros climáticos y su comportamiento también se pueden explicar bajo esta lógica de escalas. El concepto de escala permite comprender la interacción entre los elementos de la superficie urbana y la atmósfera adyacente (Arnfield, 2003). Es por ello que resulta fundamental al momento de trabajar con las características urbanas y el contexto geográfico del área de estudio, pues funciona como referencia para el análisis climático. De esta forma mientras más cercanía con la superficie es posible encontrar mayor variabilidad en el microclima, lo que indica mayor variación espacial y temporal (Oke et al., 2017).

Entendiendo la influencia de la urbanización sobre la atmósfera, se puede continuar con la comprensión de los fenómenos climáticos que evidencian dicho vínculo. Los cambios propiciados por las superficies se condicen con el fenómeno de la isla de calor urbana de superficie. Guzmán (2018) advierte que la isla de calor superficial detectada por sensores remotos se distingue de la isla de calor atmosférica por su magnitud, sus variaciones diarias y por el grado de relación entre los usos de suelo y las temperaturas. Para Oke (1995) la isla de calor urbana de superficie (ICUs) corresponde a la diferencia térmica en la interfaz atmósfera-tierra de la zona urbana respecto a la misma interfaz en la zona rural. La ICUs está asociada a las altas temperaturas emitidas por elementos urbanos



(Romero & Sarricolea, 2006). A diferencia de la Isla de calor urbana (ICU), sus características de intensidad diurna se explican porque no está sujeta a la regulación térmica por flujos de aire (Sarricolea & Romero, 2010). Por su parte, la capa de dosel urbano (UCL), es uno de los fenómenos asociados a la zona cercana a la superficie y se extiende hasta el techo de las edificaciones, el clima es propiciado por la combinación específica de las propiedades de las superficies cercanas (Oke et al., 2017). Los presupuestos energéticos están controlados por los procesos de la microescala según las condiciones del entorno inmediato (Arnfield, 2003). En ella tiene lugar la isla de calor urbana de la capa de dosel ( $UHI_{UCL}$ ) que de acuerdo a Oke (1995) corresponde a la diferencia entre la temperatura del aire en la capa de dosel urbano y la capa cercana a la superficie, en la zona rural. Por otra parte, Arnfield (2003) advierte de la idea de diferentes ICU describiendo distintas características y condicionadas bajo diferentes procesos de intercambio de energía.

### **2.3- Microclimas y diseño urbano**

Los cambios en los usos de suelo y la morfología generalmente modifican de manera irreversible las condiciones ambientales de la ciudad. Para comprender cómo se estructura esta idea, desde lo general a lo particular, se puede comenzar con el estudio de las formas y procesos de desarrollo urbano. Para ello resultan clarificadores los modelos de gestión urbana planteados por Alexander (1965) quien reconoce el concepto de malla y árbol para distinguir las ciudades espontáneas o naturales de las ciudades planificadas. Para Munizaga (1992), la malla constituye un sistema no jerárquico, mientras que el árbol un sistema jerárquico. Por otro lado, Ospina & Vásquez (2020) explican los enfoques para el estudio de las formas urbanas de acuerdo a la clasificación de Kropf (2017):

- 1) *Morfológico*: Desde un enfoque urbanístico, distingue la forma y la complejidad en una jerarquía organizada.
- 2) *Configuración*: Desde un enfoque urbanístico, más que la forma, la combinación entre elementos y relación con el entorno establece las diferencias morfológicas y patrones geométricos.
- 3) *Histórico - Geográfico*: Desde un enfoque geográfico, se enfatiza en el estudio temporal de los procesos urbanos, cronología de los asentamientos y su planimetría.
- 4) *Análisis espacial*: Desde un enfoque geográfico, se focaliza en las interacciones espaciales a distintos niveles de detalle.

Para profundizar en la escala del clima local y los microclimas, se deben precisar los elementos individuales en torno a los cuales se desenvuelven las personas. Según los planteamientos de Oke et al. (2017), el balance energético del medio urbano se explica por los diferentes balances energéticos de sus componentes, al mismo tiempo la ciudad condiciona la magnitud de los diferentes efectos climáticos según la escala urbana, así expone concretamente elementos presentes en el diseño urbano como:

- 1.- *Ciudades*: En esta escala se regula el impacto del paisaje urbano en su conjunto. Está compuesta por barrios y se pueden encontrar según su conformación, las ciudades compactas y dispersas.

2.- *Barrios*: Están asociados a las Zonas Climáticas Locales descritas por Stewart & Oke (2012) que clasifican el paisaje atendiendo a los criterios de cobertura, estructura, tejido y flujo de calor antropogénico.

3.- *Facetas*: Es la unidad urbana fundamental y se caracteriza por constituir superficies planas y homogéneas, presenta propiedades geométricas, una composición material y propiedades superficiales.

4.- *Edificios*: Regula las ganancias y pérdidas de energía a través del intercambio térmico, para asegurar un clima interior.

5.- *Calles y manzanas*: Las calles conforman las manzanas en donde tienen lugar las parcelas y edificios. Las calles tienen utilidad como espacio público.

6.- *Árboles*: Elementos urbanos con multiplicidad de funciones, tales como el control de la radiación, la temperatura y la ventilación.

El edificio está conformado por facetas verticales y horizontales que conforman su envolvente, cuyas propiedades regulan el intercambio de calor entre el ambiente exterior e interior (Oke et al., 2017). Mills et al. (2010) menciona que los requerimientos a escala de edificios individuales deben estar en consonancia con la política urbana general.

Respecto al arbolado, la vegetación cumple múltiples funciones dentro de las cuales se encuentra la regulación de temperaturas especialmente en época estival, condicionando la isla de calor a través del incremento de la humedad y la sombra, al aumentar las superficies protegidas por la incidencia de la radiación directa (Moreno, 2010). Respecto a la acción de la vegetación sobre la radiación solar Higuera (1998) destaca la doble función que cumple la sombra, donde por un lado se interpone a la radiación y por otro lado absorbe calor liberando vapor de agua.

Los elementos anteriores se encuentran integrados dentro de la escala de cañón urbano. La unidad de cañón urbano incluye la calle y las paredes entre las cuales se refleja la radiación solar, como resultado su interior describe diferentes microclimas (Moreno, 2010). En el cañón urbano, las estructuras interactúan entre sí, donde la radiación incidente es reflejada por las facetas y se propaga interceptando otras superficies o devolviéndose fuera del cañón urbano, en un proceso constante donde progresivamente se va absorbiendo parte de la radiación recibida (Oke et al., 2017).

Lo anterior conduce hacia las propiedades geométricas representativas a escala del cañón urbano. El factor de visión de cielo denota la porción a través de la cual la radiación puede ser devuelta, por los obstáculos y las características geométricas suele ser de bajos valores en la zona urbana (Moreno, 2010). Otro descriptor geométrico corresponde a la relación de aspecto o relación entre altura de los edificios y distancia entre ellos (H/W). De acuerdo a Shishegar (2013), se pueden distinguir tres categorías, el llamado corredor uniforme urbano con un valor en torno a 1, el cañón poco profundo menor a 0,5 y los cañones profundos con una relación de aspecto igual o mayor a 2. Respecto a los efectos que la geometría tiene sobre parámetros como la temperatura del aire, Smith et al. (2019) ponen en evidencia que en aquellas calles con edificios de mayor altura respecto al ancho de calle la temperatura es menor. Por su parte, al constatar la influencia de la morfología urbana en el microclima, Carrasco et al. (2016) evidencian la capacidad para acumular energía, de los perfiles con

menor SVF y menos expuestos al viento, lo cual se traduce en mayores temperaturas del aire al atardecer.

Donde comienza a emerger la escala local es entorno a la unidad urbana de manzana. La manzana contiene a los edificios y está conformada por cañones urbanos similares que delimitan bloques en forma rectangular o de cuadrícula (Oke et al., 2017). Para Higuera (1998) la morfología de las manzanas es fundamental para la conformación y reconocimiento de un tejido urbano. Al avanzar en la jerarquía urbana, el conjunto de manzanas da forma a los barrios o vecindarios, esta unidad urbana se encuentra estrechamente vinculada con el concepto de Zonas Climáticas Locales (ZCL), que de acuerdo a Stewart & Oke (2012) corresponden a regiones uniformes respecto a su cobertura, estructura, materiales y actividades. Su agrupación obedece a la capacidad de controlar aspectos de los climas locales y modificar los climas superficiales (Oke et al., 2017). Las Zonas Climáticas Locales son físicamente discretas en cuanto a su delimitación, pero entre sus límites el clima es continuo de modo que la temperatura del aire se mezcla gradualmente de unas zonas climáticas a otras (Stewart & Oke, 2012).

En síntesis, para vincular la dimensión urbana con la dimensión climática, hay que comprender que las propiedades de las unidades urbanas se van agregando una a una para configurar un conjunto, el cual mostrará microclimas propios. En escalas más precisas Oke et al. (2017) plantea que la variabilidad de los microclimas en espacios interiores es menor que en espacios exteriores donde existe más diversidad y menos permanencia.

Con una aproximación más cercana al urbanismo, respecto a la condición térmica de espacios exteriores, se encuentran otros conceptos como el de canales viales urbanos (CVU), sobre esto, Sosa et al. (2016), cita a Shashua-Bar & Hoffman (2003) quien señala que constituyen sobre la cuarta parte de las superficies urbanas, destacando la influencia de la morfología de la calle en el clima urbano. Esto sostiene la importancia de su morfología como factor determinante en las temperaturas. El concepto de canal vial urbano resulta similar al de cañón urbano propuesto por Oke (1981).

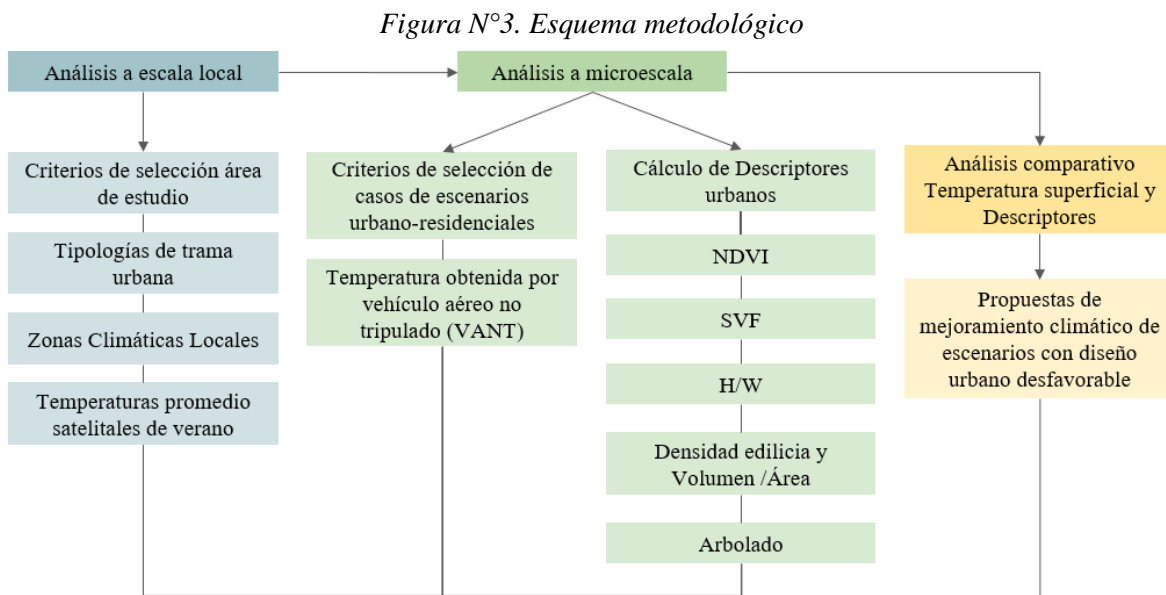
Castillo et al. (2019) analizan las temperaturas de diferentes canales viales, estudiando su relación con diversos descriptores o indicadores urbanos, para proponer esquemas de diseño o configuraciones urbanas que mejoren la habitabilidad, constatando que las variaciones de las tramas urbanas afectan los comportamientos térmicos. En la misma línea, Castillo et al. (2018) también analizan el comportamiento y confort térmico de canales viales en tramas de tipo racional, orgánica y Cul-de-Sac, bajo distintas situaciones geográficas, de esta forma, para las mismas tramas constatan diferencias en el confort térmico según el escenario geomorfológico en el cual estén insertos los canales viales. Cárdenas (2012) por su parte, evidencia la existencia de patrones bioclimáticos asociados al tejido residencial, mediante la relación entre el comportamiento energético y la configuración urbana de conjuntos habitacionales. De lo anterior, se desprende que la geografía es capaz de reconocer la función de variables ambientales en la configuración espacial de climas locales y microclimas, pero se puede complementar con el urbanismo bioclimático, donde se consideran las propiedades de los materiales urbanos y el diseño pasivo en el intercambio térmico de espacios exteriores e interiores, por ende, el estudio del confort térmico y habitabilidad.

No menos importante son las estrategias aplicadas para enfrentar las diferentes condiciones climáticas. Rizwan et al. (2008) distingue por un lado las estrategias destinadas a controlar el intercambio energético, donde ubica la reducción de la liberación de calor antropogénico, el diseño del techo y otros factores de diseño, mientras que, por otro lado, las clasifica según la etapa de planificación urbana en que se implementen, encontrándose aquellas durante la etapa de diseño y posterior a la etapa de diseño. Sosa et al. (2020) basado en autores, menciona que, para aquellas enfocadas en el intercambio energético se pueden encontrar acciones tales como la regulación del diseño y materialidad de las envolventes o la disminución del calor generado en espacios interiores, mientras que dentro de las estrategias enfocadas en la etapa de planificación, Rizwan et al. (2008) distingue por un lado aquellas propuestas durante la etapa de diseño, como el manejo previo del Sky View Factor o la elección de materiales, y por otro lado aquellas posteriores a la etapa de diseño, como las áreas verdes.

Respecto a las diferentes intervenciones, a nivel de las facetas que componen la envolvente del edificio, Oke et al. (2017), menciona la existencia de variados revestimientos para la superficie de techos fríos, con diferentes grados de emisividad y reflectancia. Por otra parte, respecto al papel de la vegetación en el confort térmico, Zölch et al. (2016) menciona la importancia de ubicarla estratégicamente en las áreas expuestas, con el fin de optimizar su función en la mitigación. En esta línea, Higuera (1998) afirma que el estudio de la localización, del tamaño de la vegetación y de las especies, son fundamentales para adaptar los espacios libres y lograr un equilibrio del ecosistema urbano. Más específicamente, Zölch et al. (2016) evidencia la mejora en el confort térmico a través de la implementación de árboles y fachadas verdes, mientras que para el caso de los techos verdes no se prueba la misma capacidad de mitigar el estrés por calor a nivel peatonal. Otro aspecto a considerar corresponde a las implicancias de las diferentes escalas en que se enmarcan las medidas o estrategias de planificación, en este sentido como advierte Mills et al. (2010), existe una dependencia mutua entre los efectos de las decisiones de una escala u otra, es decir se debe considerar la multiescalaridad en la planificación sensible al clima ya que, los diferentes niveles en que tienen lugar las intervenciones pueden complementarse o contrarrestarse.

## CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

La investigación se aborda desde un enfoque general hacia el estudio de casos focalizados, partiendo por un análisis a escala local se caracteriza la comuna desde el punto de vista urbano y climático, permitiendo la delimitación de sectores o zonas sobre las cuales posteriormente trabajar. Por su parte, el análisis a microescala que permitió conseguir los primeros objetivos se efectuó a través de una doble mirada, por un lado, se trabajó a escala predial y por otro a escala de manzana o conjunto residencial, en el primer nivel se analiza la entidad de predios individuales y en el segundo se analiza el nivel agrupado del conjunto de elementos que representan a cada escenario residencial o caso de estudio. De esta forma una vez obtenidos los valores termales se calculan los descriptores urbanos y ambientales que serán analizados comparativamente con la temperatura superficial de cada escenario residencial, con lo anterior, se pueden fundamentar los lineamientos de diseño urbano sensible al clima (Figura N°3).



Fuente: Elaboración propia, 2022

### 3.1- Selección casos de estudio

La selección de escenarios urbano residenciales se dividió en dos etapas. En la etapa inicial, correspondiente a la escala local, se abordaron las condiciones termales y urbanas de la comuna a través de un análisis exploratorio mediante el cual se delimitaron dos zonas o sub áreas. Prosiguiendo con la segunda etapa, correspondiente a la microescala, dentro de las dos zonas seleccionadas se profundizó la relación entre temperatura superficial y descriptores urbanos para 7 escenarios residenciales específicos. Inicialmente, para delimitar la zona 1 y 2 se siguieron ciertos criterios ambientales y urbanos (Tabla N°1):

*Tabla N°1. Criterios de selección para el área de estudio.*

Tipología de trama urbana a microescala (Ospina & Vásquez, 2020)	Retícula de manzanas regulares
	Retícula de manzanas irregulares
Zonas Climáticas Locales (ZCL) (Stewart & Oke, 2012)	Alta densidad (compacto) de media altura (B2)
	Alta densidad (compacto) de baja altura (B3)
Características del entorno natural	Distancia a cerros
	Distancia a ríos
Temperaturas de emisión superficial a escala local	Imagen Landsat diurna promedio verano 2013 - 2021 (30 metros)

Fuente: Elaboración propia, 2022

Para cumplir con el primer criterio y con el fin de contextualizar el entorno de las zonas a estudiar se realizó una clasificación general de la trama urbana, clasificación relativa al trazado vial característico y la morfología de las manzanas (Tabla N°2). Se utilizó la tipología identificada y expuesta por Ospina & Vásquez (2020) (más detalles en Ospina & Vásquez, 2020) enfocada en un contexto local, pero se adaptó a escala de vecindarios y manzanas.

*Tabla N°2. Cuadro resumen de tipología de trama urbana*



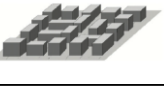

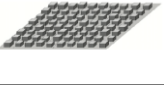


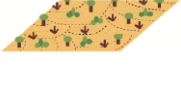


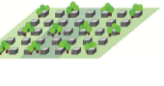

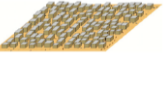
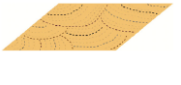
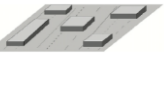


Trama Reticular	Reticular regular	Con un trazado que configura retículas y además presenta uniformidad en las manzanas.
	Reticular irregular	Con un trazado que presenta continuidad mediante orientaciones adaptadas a las condiciones del medio, configurada por manzanas de morfología irregular.
Trama no reticular	Irregular	Con un trazado discontinuo que no configura una retícula y presenta diversidad en la morfología de sus manzanas.
	Orgánica	Con un trazado asimétrico y sinuoso, sin un orden y aparentemente con un desarrollo espontáneo. Presenta formas adaptadas a la topografía.
	Lineal	Se desarrolla a lo largo de un vía sin configurarse entorno a un centro.
Calles sin salida		Presenta características dendríticas o ramificadas, sin interconexión entre calles y sin configuración de manzanas.

Fuente: Elaboración propia, 2022, adaptado de Ospina & Vásquez (2020)

Delimitando la trama urbana, se descartó la de tipo no reticular orgánica y lineal, tramas modeladas por la presencia del cerro, donde predomina un patrón difuso en la configuración de las manzanas, ambas además se encuentran en terrenos de pendiente, en consecuencia, se excluyen para minimizar las posibles anomalías y efectos topográficos. Como señala Guzmán (2018), existe evidencia de la condicionante topográfica sobre la radiación en superficie a escala local, dada la variabilidad en cuanto a orientación.

Otro criterio, corresponde a la clasificación por zonas climáticas locales estipulada por Stewart & Oke (2012) y adaptada para la comuna de Renca en el marco del proyecto FONDEF IDeA ID20I10378 “Modelo de simulación del clima urbano para apoyar la toma de decisiones de planificación sensible al clima en Chile” (2020-2022) (Figura N°4).

Figura N°4. Esquema de Zonas Climáticas Locales

Código ZCL	Stewart & Oke (2012)	Código ZCL	Stewart & Oke (2012)
B1 Alta densidad (compacto) de gran altura	Compact High-rise 	B10 Industria pesada	Heavy Industry 
B2 Alta densidad (compacto) de media altura	Compact Mid-rise 	N1 Arbolado Denso	Dense Trees 
B3 Alta densidad (compacto) de baja altura	Compact Low-rise 	N2 Arbolado Disperso	Scattered Trees 
B4 Baja densidad (abierto) de gran altura	Open High-rise 	N3 Arbustos y matorrales	Bush, scrub 
B5 Baja densidad (abierto) de media altura	Open Mid-rise 	N4 Plantas bajas y césped (plantaciones)	Low Plants 
B6 Baja densidad (abierto) de baja altura	Open Low-Rise 	N5 Pavimento o roca	Bare rock or paved 
B7 Material ligero de baja altura	Lightweight Low-rise 	N6 Suelo desnudo (tierra o arena)	Bare soil or sand 
B8 Extensivo de baja altura	Large low-rise 	N7 Masa de agua	Water 
B9 Urbanización Dispersa	Sparsely Built 		

Fuente: Elaboración propia, 2022, adaptado de FONDEF IDeA ID20110378 “Modelo de simulación del clima urbano para apoyar la toma de decisiones de planificación sensible al clima en Chile” (2020-2022), en base a Stewart & Oke (2012)

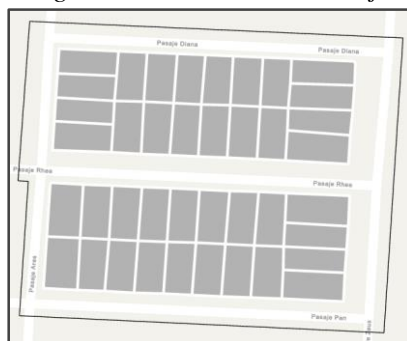
De las ZCL se escogieron aquellas conformadas por tejido residencial, correspondientes a la zona de Alta densidad y media altura (B2) y la zona de Alta densidad y baja altura (B3) (Figura N°4). Para profundizar en las ZCL, se utilizó la temperatura de emisión superficial (30m) diurna del satélite Landsat para el promedio del periodo de verano 2013 - 2021, con la cual se extrajeron valores termales puntuales a escala de predios mediante la herramienta *Extract Multi Values to Points* de ArcGis, con ello se obtuvo la variabilidad de los datos por cada ZCL, incluidas las zonas escogidas.

Respecto a las características del entorno natural, el trabajo se focalizó a lo largo del sector sur, a una distancia relativamente similar respecto al río Mapocho (60-270 m) y se descartaron las áreas cercanas a los Cerros de Renca donde existe un trazado bastante irregular con calles discontinuas y manzanas

heterogéneas en su forma, dichas características también se presentan en sectores centrales de la comuna.

Como último criterio, a partir de la imagen satelital de temperatura superficial se consideraron los contrastes observados a escala local. De esta forma dentro de las ZCL seleccionadas (B2 y B3), fue posible distinguir dos sectores (Zona N°1 y Zona N°2) con 2°C de diferencia aproximadamente, uno al suroriente y otro al surponiente de la comuna. Una vez realizado este filtro se seleccionaron 7 escenarios residenciales, cada uno compuesto por un pasaje y sus manzanas aledañas, estos corresponden a diseños urbanos representativos del tejido residencial. De los 7 escenarios estudiados, 2 se ubicaron en el sector suroriente (A, B) y 5 en el sector surponiente de la comuna (C, D, E, F, G), de los 7 casos estudiados, 2 pertenecen a la zona de alta densidad y media altura (B2) y cinco a la zona de alta densidad y baja altura (B3). A continuación, se muestra un ejemplo de la unidad trabajada (Figura N°5):

*Figura N°5. Unidad de trabajo*



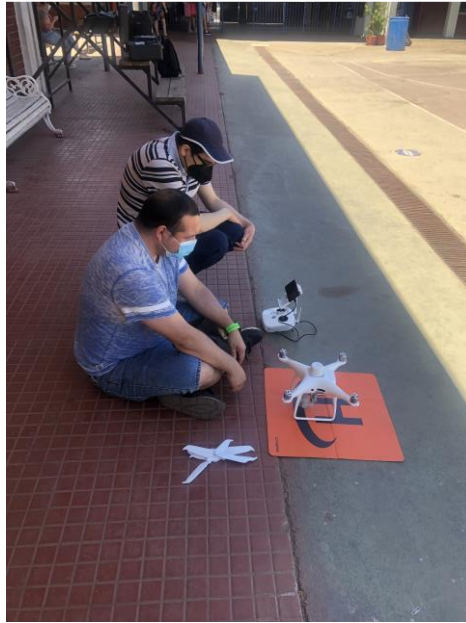
Fuente: Elaboración propia, 2022

### **3.2- Levantamiento de imágenes aéreas**

Para el levantamiento de imágenes aéreas se utilizó el dron Mavic 2 Enterprise y la preparación del vuelo contempló la etapa de configuración de la ruta y la preparación en terreno, en esta última etapa fue necesario considerar la ubicación desde donde se despegó y desde donde se pilotea el dron, esta debe ser un área lo más amplia posible y libre de obstáculos (Figura N°6). Se levantaron imágenes aéreas de las dos zonas seleccionadas el día 04 de enero de 2022, a las 12:15 hrs en la zona 2 desde la Escuela Jorge Alessandri Rodríguez y a las 14:45 hrs en la zona 1 desde el Estadio Municipal de Renca (Figura N°7), a una altura de 130 metros. Cabe mencionar que en el primer vuelo la temperatura estuvo en torno a los 18-20°C y durante el segundo la temperatura rondó los 23-25°C, la máxima alcanzada fue de 30°C (Estación meteorológica Arturo Merino Benítez). Para planificar el vuelo, configurar la ruta y visualizar la operación del dron se requirió de la aplicación DJI Pilot, la cual indica, entre otras cosas, la elevación, la distancia recorrida y la velocidad. Durante los vuelos se realizó una videograbación de pantalla con el fin de registrar el recorrido del dron y los grados Celsius (Figura N°8).

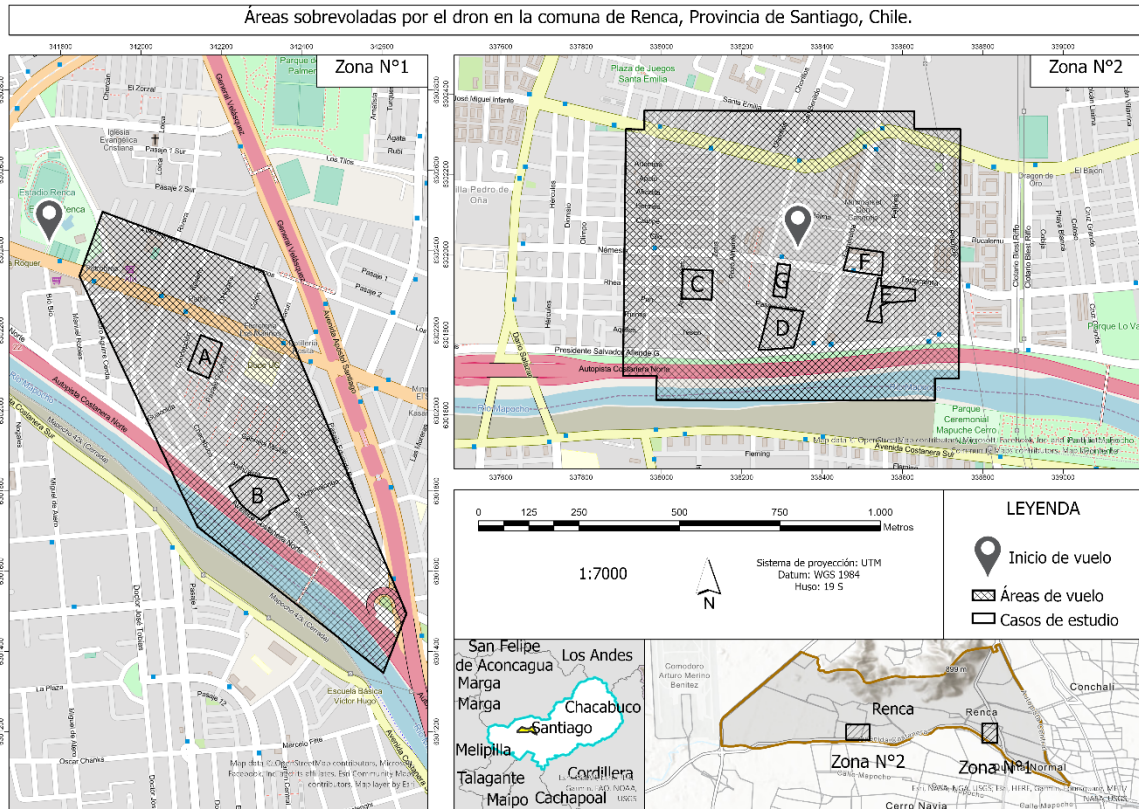


Figura N°6. Preparación de inicio de vuelo



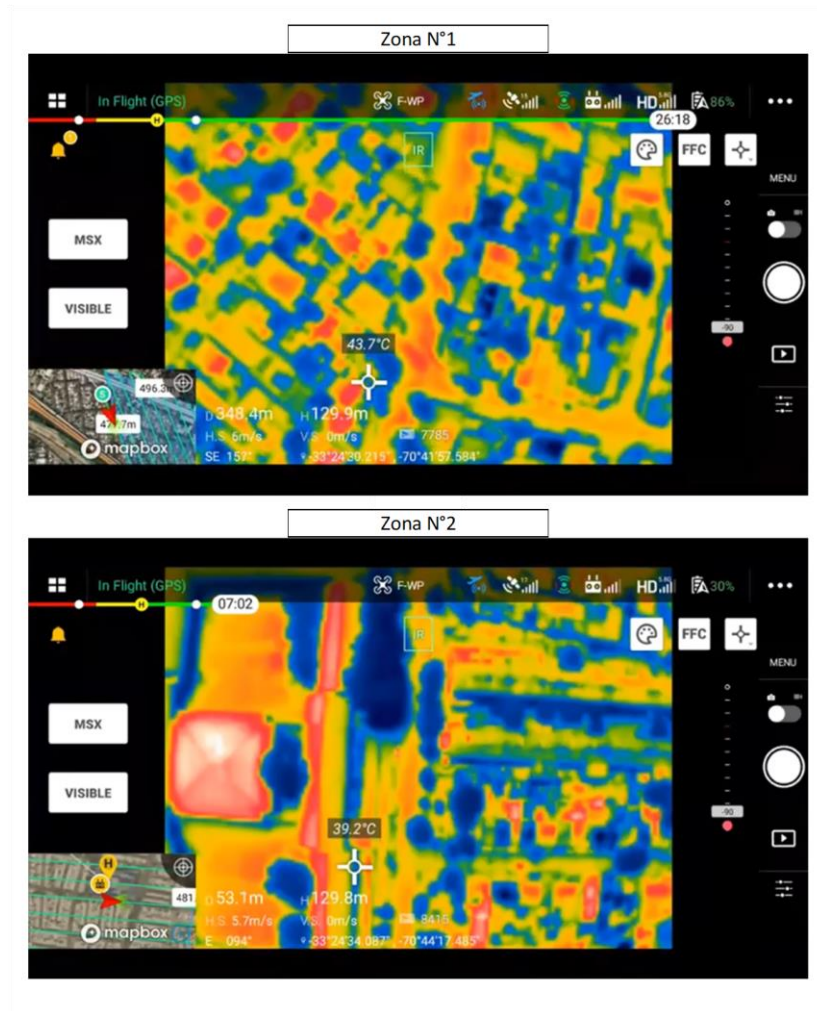
Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura N°7. Áreas programadas para sobrevolar con dron, en la comuna de Renca



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura N°8. Sobrevuelo de dron en aplicación DJPilot



Fuente: Elaboración propia, 2022

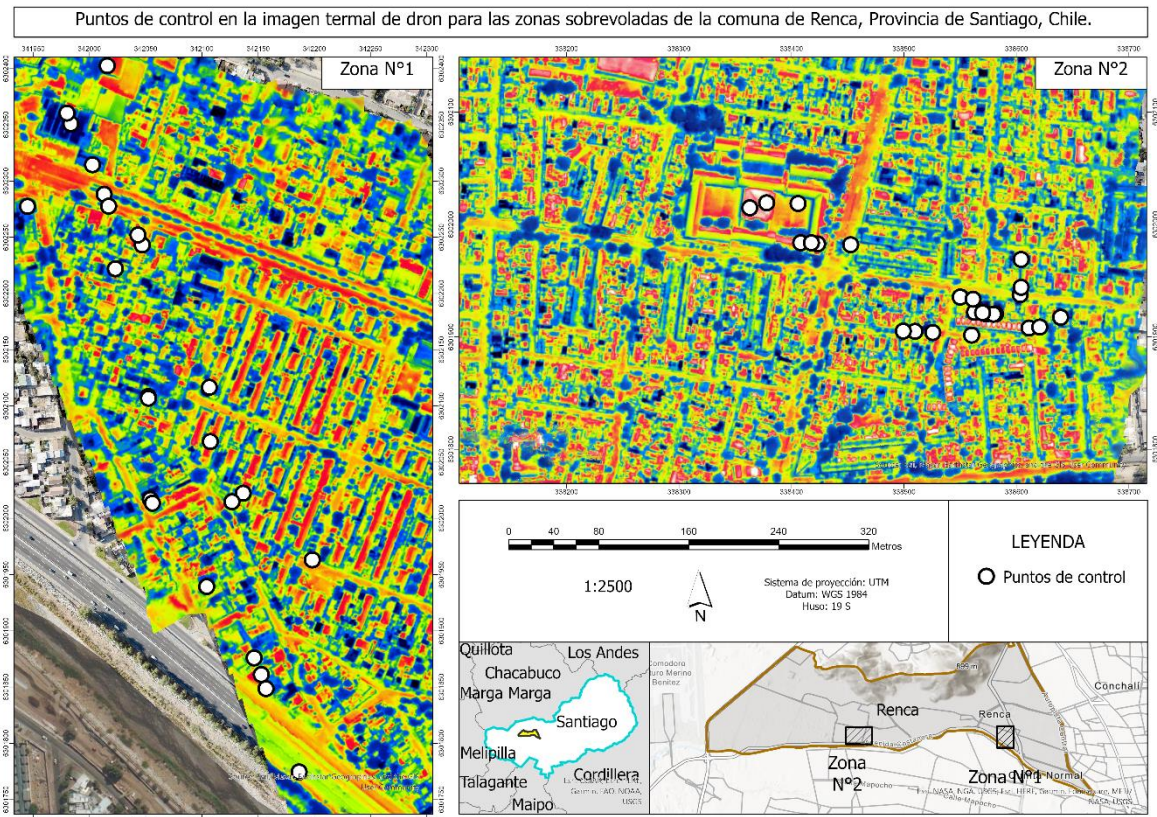
### 3.3- Procesamiento de imágenes de dron y obtención de temperatura superficial

El procesamiento de imágenes aéreas consistió en dos etapas, la primera, correspondiente a la elaboración de ortofotomosaicos en el software Agisoft Metashape, sobre el cual se generaron los productos necesarios para la segunda etapa de procesamiento en ArcGis, donde se georreferenciaron las imágenes y se realizó el proceso de conversión de datos.

Las ortofotos en color verdadero (RGB) y termal captadas por el dron son ingresadas al software Agisoft Metashape, donde a partir de una secuencia o flujo de trabajo que incluye la alineación de fotos y una nube de puntos densa, se construyen productos como el modelo digital de superficie (MDS), el NDVI y el ortofotomosaico en color verdadero y termal.

Los ortofotomosaicos en color verdadero y termal son georreferenciados en ArcMap para una óptima alineación y través de la videograbación de pantalla, con la información de grados Celsius de ambos vuelos, se establecieron y registraron entre 22 y 25 puntos de control de los sectores grabados para asignarlos a cada imagen termal (Figura N°9). Posteriormente se identificaron los valores de las bandas RGB de cada punto, la información de coordenadas y de grados, para luego tabularlos en Excel (Tabla N°3) y generar una Regresión en *Análisis de datos*.

Figura N°9. Puntos de control en la imagen termal de dron para las zonas sobrevoladas en Renca.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla N°3. Puntos de control con temperatura y valores RGB

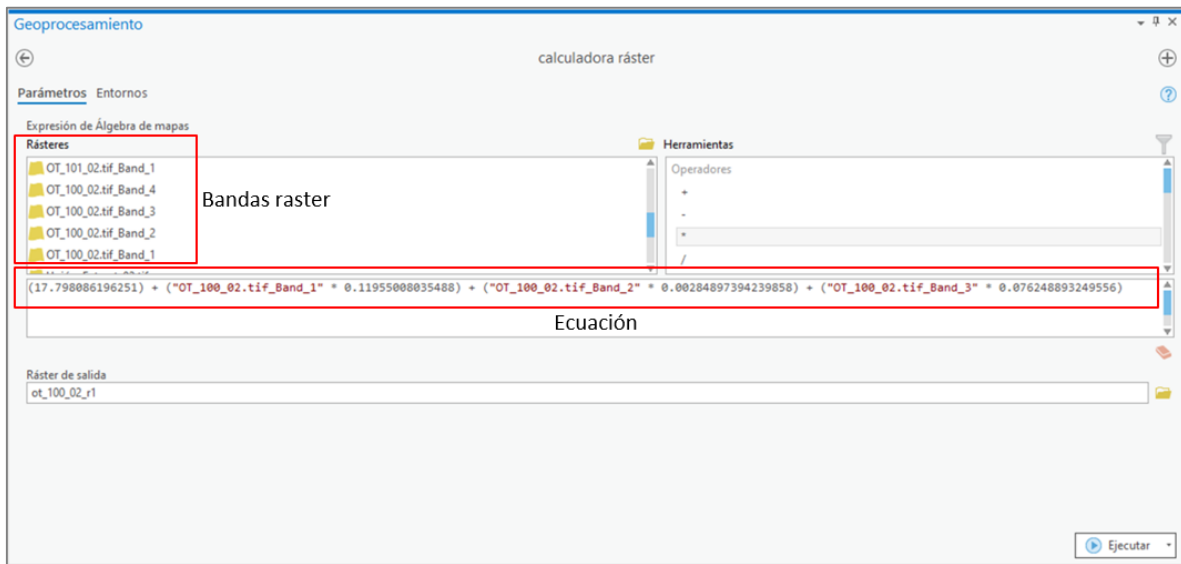
Puntos de control Zona N°1 (oriente)						Puntos de control Zona N°2 (poniente)						
POINT_X	POINT_Y	Ts (°C)	R	G	B	ID	POINT_X	POINT_Y	Ts (°C)	R	G	B
-70,69805	-33,41028	30,2	18	72	153	1	-70,73809	-33,409	57,9	226	189	167
-70,69775	-33,41111	27,8	13	42	106	2	-70,73778	-33,40933	54,3	227	162	141
-70,69858	-33,40957	22,7	17	18	76	3	-70,73761	-33,40934	52,6	226	37	68
-70,69799	-33,40912	56,4	231	38	61	4	-70,7373	-33,40935	45,6	220	181	23
-70,69769	-33,40954	58,5	229	74	95	5	-70,73626	-33,40979	29,7	18	50	116
-70,69799	-33,40868	52,8	227	147	28	6	-70,73567	-33,40949	42,3	195	192	8
-70,69754	-33,41099	55,5	225	52	53	7	-70,73569	-33,40977	46,1	222	174	22
-70,69779	-33,4096	34,5	24	59	121	8	-70,7353	-33,40996	27,7	14	23	93
-70,69858	-33,40875	21,9	17	18	18	9	-70,73561	-33,41004	54,9	226	191	168
-70,69861	-33,40753	51,6	224	165	23	10	-70,73593	-33,40993	26,4	19	14	78
-70,6997	-33,40721	28,7	18	28	93	11	-70,73604	-33,40992	20,5	14	13	39
-70,69892	-33,40609	63,5	226	134	118	12	-70,73612	-33,40991	36,5	16	114	189
-70,69928	-33,40655	25,8	16	17	82	13	-70,73826	-33,40904	56	226	116	114
-70,69908	-33,40688	37	10	103	199	14	-70,73779	-33,40902	47,3	229	158	28
-70,69619	-33,41281	30	12	48	113	15	-70,73767	-33,40933	45,7	215	189	18
-70,69761	-33,41086	50,4	222	178	20	16	-70,73567	-33,40972	32,9	29	141	154
-70,69865	-33,40745	42,8	10	101	191	17	-70,7355	-33,41004	44,1	178	190	16
-70,69897	-33,40712	35,2	16	87	182	18	-70,73653	-33,41007	30,2	16	58	129
-70,69893	-33,40722	41,2	12	88	177	19	-70,7367	-33,41005	31,8	19	75	150
-70,69856	-33,4096	26,5	16	24	86	20	-70,73616	-33,41009	47,2	230	157	25
-70,69931	-33,40647	33,3	17	55	123	21	-70,73681	-33,41005	34,1	16	89	179
-70,69858	-33,40876	19,5	16	18	17	22	-70,73614	-33,4098	30,5	4	60	145
						23	-70,73601	-33,40993	24,8	14	14	77
						24	-70,73594	-33,40993	30,3	17	57	131
						25	-70,73605	-33,40992	21,3	17	14	76

Fuente: Elaboración propia, 2022

Una vez tabulados los puntos de control, para obtener una imagen termal en grados Celsius, se procedió a realizar una regresión en Excel, como resultado el valor R2 y el error típico de la imagen convertida respecto a la imagen de dron es de 0,96 y 2,43 respectivamente para la zona 1 y 0,97 y 1,8 respectivamente para la zona 2. De la regresión, también se obtienen los coeficientes de intersección y los coeficientes para las bandas R, G, B, que serán reemplazados en la ecuación de regresión múltiple mediante la herramienta de calculadora raster en Arcgis (Figura N°10). De esta forma para el cálculo respectivo se utilizó la ecuación descrita en el proyecto FONDEF IDeA ID20110378 “Modelo de simulación del clima urbano para apoyar la toma de decisiones de planificación sensible al clima en Chile” (2020-2022):

$$\text{Coeficiente de intersección} + (\text{Banda R} * \text{coeficiente R}) + (\text{Banda G} * \text{coeficiente G}) + (\text{Banda B} * \text{coeficiente B})$$

Figura N°10. Proceso de conversión de imagen termal del dron a temperatura superficial en grados Celsius (°C).



Fuente: Elaboración propia, 2022

A partir del procesamiento de las imágenes de dron también se obtuvieron productos digitales útiles para la caracterización morfológica urbana, los cuales corresponden a un ortofotomosaico en color verdadero y un modelo digital de superficie (MDS).

### 3.4- Obtención de valores termales a partir de polígonos y análisis de temperatura superficial (VANT)

Para conseguir el primer objetivo y rescatar el comportamiento de la temperatura a microescala, se obtuvo un resumen estadístico calculado a nivel de manzana y a nivel de predio por cada escenario urbano residencial, esto se realizó en Arcmap mediante la función de *Análisis espacial y Zonal*, correspondiente a *Estadísticas zonales como tabla*, con ello se reconocen con mayor objetividad las condiciones predominantes en el comportamiento de los valores termales del raster. Como dicha función se puede aplicar con polígonos, se utilizó la división predial y la capa delimitada para los escenarios residenciales, de esta forma, se obtiene un resumen con la identificación de los predios y la información estadística adjunta calculada por el software, vale decir, el valor mínimo, máximo, medio y el rango de temperatura superficial, por cada predio individual y cada manzana o conjunto. Teniendo la información termal en tablas, se usó la función *campo de unión* para agregarla a la capa inicial de predios. Finalmente, para completar la base de datos, mediante la función *interseccionar*, se añadió información catastral espacializada del censo (2017), de esta forma cada predio contendría un resumen único de datos termales e información urbana asociada, por fila. La información obtenida hasta este punto fue utilizada como base para construir los gráficos con valores de temperatura superficial y descriptores respectivos.

### 3.5- Cálculo de indicadores urbanos

A continuación, para el segundo objetivo, se buscó comparar la información termal tabulada anteriormente con las características urbanas y ambientales de los escenarios residenciales, lo cual se efectuó a través de regresiones y gráficos comparativos. Los descriptores calculados fueron, el factor de visión de cielo (Sky View Factor o SVF), el factor de relación Altura y Ancho (altura/ancho o H/W), el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (Normalized Difference Vegetation Index o NDVI), la densidad de viviendas (N°Viviendas/ha), la relación de volumen y superficie (Volumen/Área) y el arbolado urbano.

Para el Sky View Factor y el factor Altura / Ancho se utilizó el modelo digital de superficie (MDS) obtenido a partir de las imágenes de dron procesadas en Agisoft Metashape y trasladadas a Arcgis. A partir de esto y para efectuar el cálculo, se establecieron 374 puntos de control y por cada uno se registraron las alturas de las edificaciones adyacentes representadas por el valor de los píxeles restándole la altura base (H-H0), mientras que, el ancho de calle se reemplazó por la distancia entre fachadas (W) según fuera el caso particular de cada punto. Además, se calculó el valor en radianes, el ángulo de incidencia lumínico en grados y el valor final del Sky View Factor por cada uno de los 374 registros. Para ello, se aplicaron las fórmulas planteadas por Sarricolea (2012) a partir del método de Bonan (2002):

$$\begin{aligned} \text{Radianes (rad)} &= \tan^{-1} 2H/W \\ (^\circ) &= \text{Grados} [\tan^{-1} 2H/W] \\ \text{Sky View Factor } (\psi) &= \cos [\tan^{-1} 2H/W] \end{aligned}$$

Por otra parte, el factor Altura / Ancho fue calculado con una operación única, siendo la altura (H) dividida por el Ancho de calle o distancia entre fachadas (W). Posteriormente se utilizó la herramienta *IDW* de Arcgis para completar los valores de SVF y del factor H/W en las superficies no cubiertas por los puntos de control, como resultado se obtuvieron dos imágenes raster con las cuales se aplicaron las *estadísticas zonales como tabla* tanto a nivel predial como de manzana según la delimitación de los escenarios residenciales escogidos. Lo anterior permitió construir gráficos comparativos por cada uno de los 7 escenarios.

Posteriormente, para ambos factores, las imágenes raster fueron transformadas a puntos y cortadas según el molde de los 7 escenarios residenciales, resultando una cantidad de 9000 puntos totales, luego se aplicó la función *Extract Multi Values to Points* en base a las imágenes termales. Finalmente, a partir de la tabla obtenida, con una regresión en *Análisis de datos* de Excel, se lograron relacionar los dos factores morfológicos y la temperatura superficial. La temperatura superficial corresponde a la variable dependiente (y), mientras que los valores asignados para los factores urbanos corresponden a la variable independiente (x).

Para el caso del NDVI, este se obtuvo a partir de las imágenes captadas por el dron durante la medición de temperatura y en el procesamiento de Agisoft Metashape se obtiene un ortofotomosaico al cual se le debe aplicar la fórmula de cálculo para poder visualizarlo correctamente:

$$\text{NDVI} = \text{IRC} - \text{Rojo} / \text{IRC} + \text{Rojo}$$

La capa de puntos conseguida del procesamiento del SVF y H/W fue utilizada para relacionar el NDVI con la temperatura, de esta forma, se aplicó el mismo procedimiento anterior con *Extract Multi Values to Points* en base al raster de temperatura superficial, obteniendo una tabla con ambas variables para efectuar la regresión en Excel. Respecto al gráfico comparativo por escenarios residenciales, se utilizaron los datos de las *Estadísticas zonales como tabla* aplicadas al raster de NDVI.

Una vez parametrizados el NDVI, el SVF y el factor H/W, con el fin de complementar el análisis de temperatura superficial y descriptores urbanos, se sistematizaron otros descriptores correspondientes al factor de densidad de viviendas por superficie en hectáreas (N° Viviendas / Ha) y el volumen por superficie (Volumen/Área), ambos fueron relacionados con la arborización urbana, tanto los árboles totales como el arbolado al interior de los predios pertenecientes a los 7 escenarios residenciales. Para aclarar debidamente, a diferencia de los indicadores NDVI, SVF y H/W, en esta ocasión no se construyeron curvas de regresión, ya que se le asignó especial importancia a la morfología urbana, utilizando para ello medidas de altura, ancho, área y volumen del conjunto y de los predios. Como limitación, cabe mencionar que no se trabajó con el volumen edificado sino con el volumen resultante de la altura promedio por la superficie total de cada conjunto urbano.

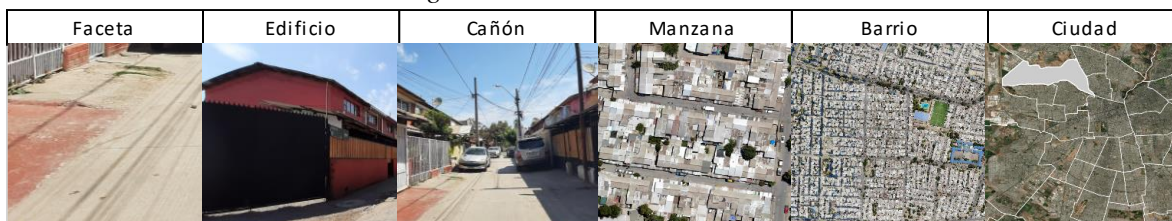
Concluida esta etapa, se analizaron los resultados obtenidos comparativamente respecto a los diseños urbanos característicos de cada escenario residencial. Lo anterior, constituye la base para los posibles lineamientos de planificación urbana, adaptados al contexto microclimático local. Las propuestas sobre lineamientos de diseño urbano se sintetizaron en base a la relación establecida entre los diferentes descriptores urbanos y ambientales con la temperatura superficial.

## CAPÍTULO 4: RESULTADOS

### 4.1- Características ambientales y urbanas

Los primeros resultados obtenidos corresponden a las características del medio urbano y ambiental a escala local. Aplicando los conceptos de Oke et al. (2017) se puede contextualizar la jerarquía de unidades urbanas con un ejemplo para la comuna de Renca (Figura N°11).

*Figura N°11. Unidades urbanas.*



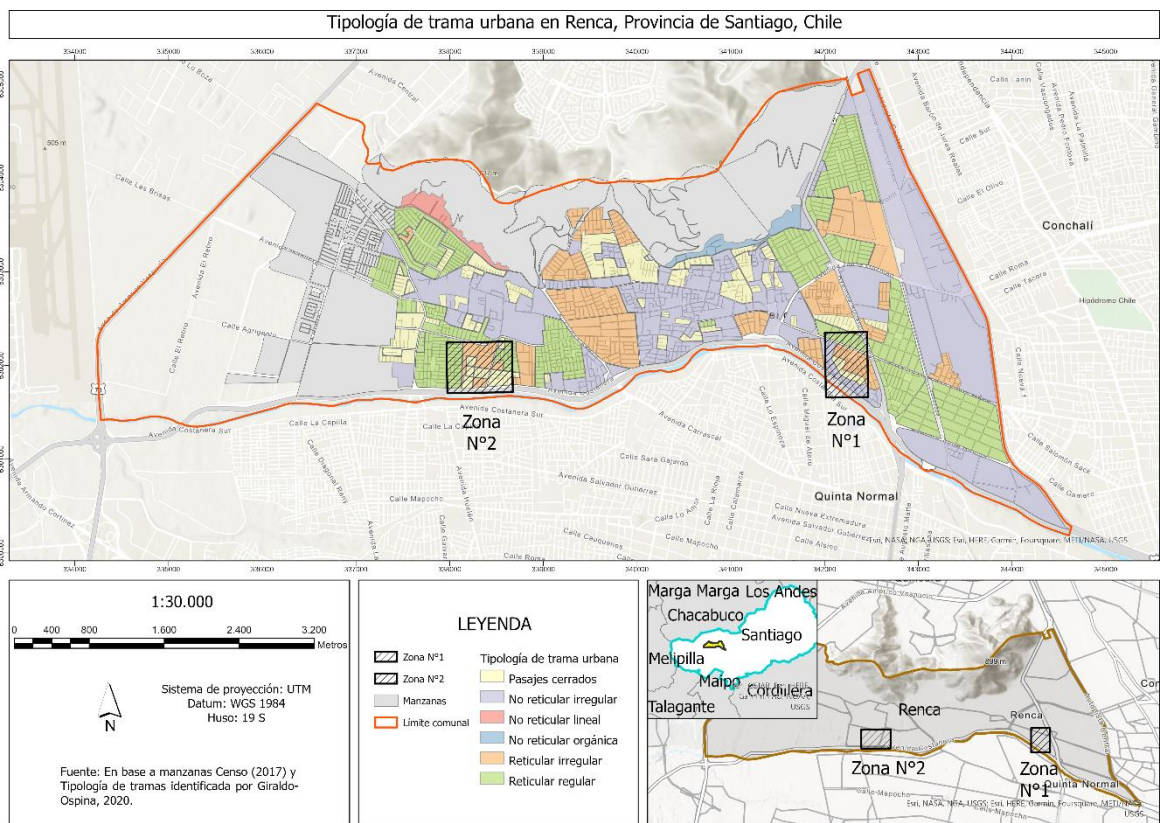
Fuente: Elaboración propia, 2022

A modo introductorio y para orientar el análisis morfológico de la comuna de Renca, la clasificación por tipología de trama urbana denota la inexistencia de una trama de cuadrículas y en su lugar el trazado regular está formado por manzanas rectangulares. En la zona media de la comuna existen trazados irregulares, pero sus calles configuran cierta estructura reticular. En el otro extremo se encuentran las tramas irregulares por la diversidad en la forma de sus manzanas y un trazado vial que no configura una estructura reticular clara y continua, en esta categoría se encuentra el sector oriente de industrias de trama no reticular irregular y parte importante de la comuna está dominada por patrones irregulares donde no es reconocible una forma homogénea en las manzanas e incluso el trazado de las calles resulta bastante sinuoso, esta condición se acentúa y se encuentran categorías de trama no reticular orgánica y no reticular lineal aledañas a los cerros de Renca donde la topografía comienza a desperfilar la morfología de algunos sectores residenciales y el trazado se intenta adaptar a las condiciones del entorno natural (Figura N°12).

Por su parte, los sectores trabajados se encuentran cercanos al río e insertos en un trazado de retícula irregular y algunos pasajes sin salida, puesto que varía la morfología de sus manzanas y algunas calles no tienen conexión, pese a esto la estructura vial logra generar continuidad y cierto patrón asociado a diferentes vecindarios, para el caso de la zona N°1 existen manzanas rectangulares y alargadas, pero ciertamente presentan pasajes sin salida lo que dificulta eventualmente la circulación de los vientos. Mientras, por otro lado, la zona N°2 cuenta con manzanas poligonales heterogéneas y bastante compactas entre ellas también se encuentran emplazados algunos predios con bloques habitacionales (Figura N°12).



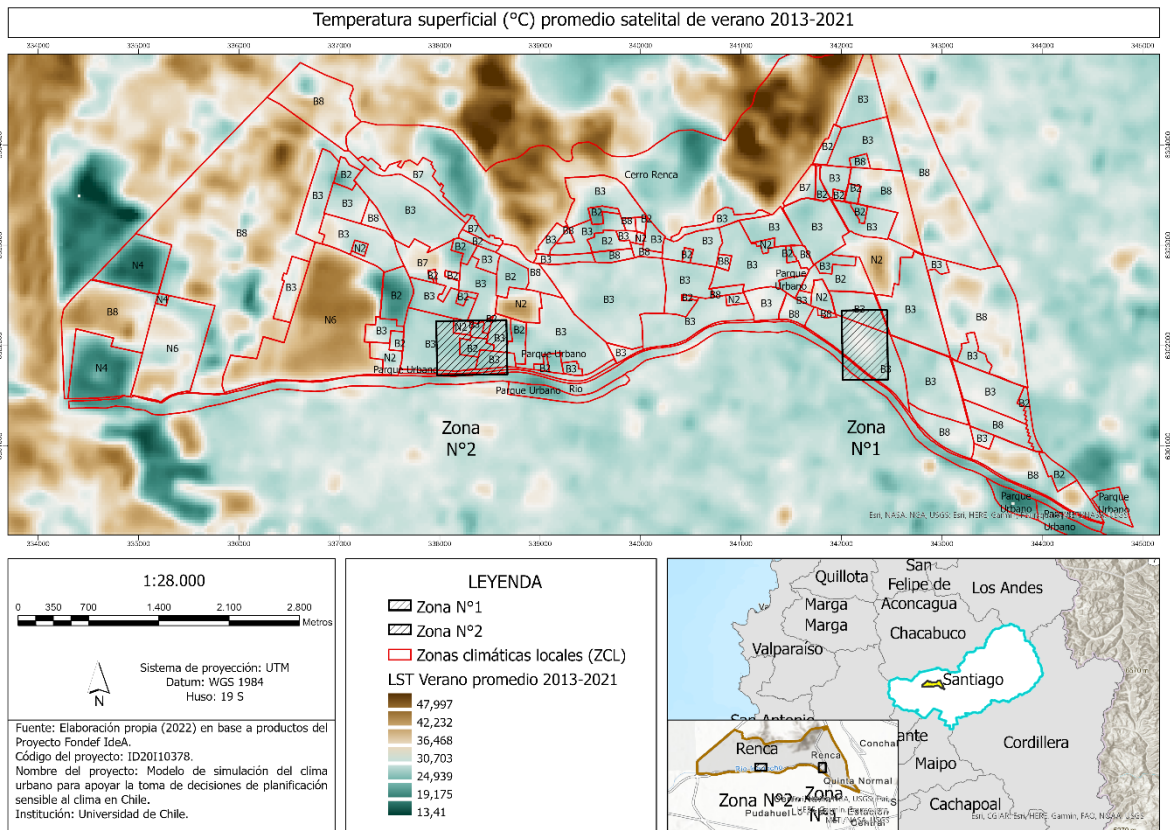
Figura N°12. Tipología de trama urbana para la comuna de Renca



Fuente: Elaboración propia, 2022

Con la observación de los patrones de temperatura descritos por la imagen satelital fue posible reconocer algunos focos cálidos y otros fríos. Respecto al análisis comparativo con las zonas climáticas locales dicho comportamiento se puede confirmar en sectores con edificaciones de mayor altura productoras de sombra (ZCL B2 / Alta densidad, compacto de media altura) y parques urbanos con cobertura arbórea donde la temperatura de emisión es menor. Por el contrario, es posible observar un comportamiento cálido en canchas (ZCL N2 / Arbolado Disperso), sitios eriazos y algunos focos de temperatura alta en sectores industriales (ZCL B8 / Extensivo de baja altura) (Figura N°13).

Figura N°13. Temperatura superficial promedio y Zonas Climáticas Locales.



Fuente: Elaboración propia, 2022, en base a FONDEF IDEA ID20110378 “Modelo de simulación del clima urbano para apoyar la toma de decisiones de planificación sensible al clima en Chile” (2020-2022)

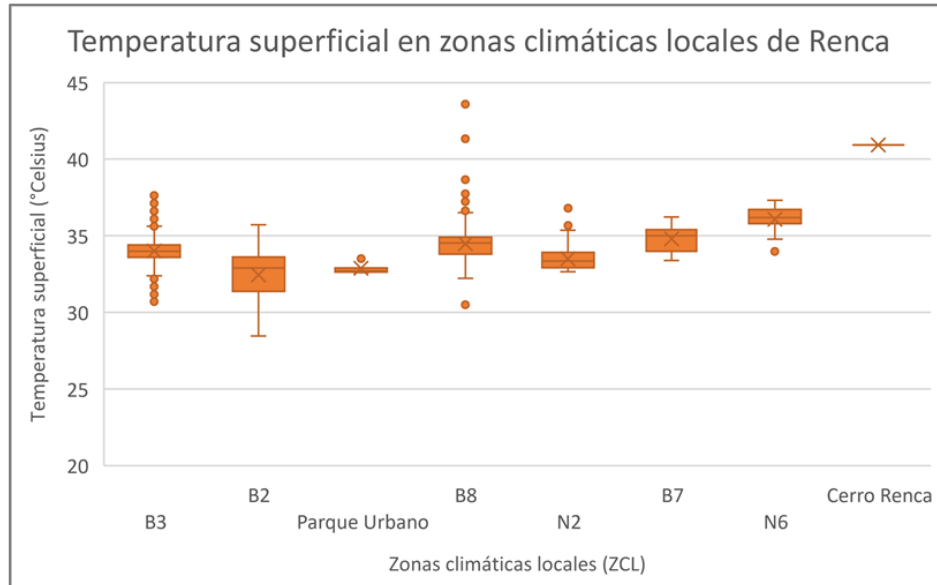
En el sector oriente y en el sector poniente la distribución de la temperatura es más heterogénea, pues existen focos cálidos y fríos marcados, presentando en general el comportamiento descrito por Guzmán (2018) donde las zonas industriales, aeropuertos y espacios abiertos extensos de pavimento presentan superficies calientes, contrastando con zonas frías donde existen edificios más altos y la superficie cubierta con techos es menor. Para el caso de Renca las altas temperaturas al poniente se ven interrumpidas por zonas frías asociadas a parcelas de agrado, a la altura de los bloques residenciales y a los techos más fríos del sector de industrias, este último factor respondería a características propias en la cobertura de la superficie (Figura N°13).

Cabe mencionar que los casos señalados anteriormente obedecen a zonas climáticas diferentes y casos reconocibles a escala local, ya que el panorama general obedece a una distribución no tan heterogénea de la temperatura, donde la mayoría de los sectores están asociados a la zona de Alta densidad, compacto, de baja altura (B3) con una temperatura de emisión más bien suavizada (Figura N°13).

Respecto a la totalidad de las zonas climáticas, la zona de alta densidad y media altura (B2) mostró mayor variabilidad, seguida por la zona de material ligero de baja altura (B7), la zona de tipo

extensivo de baja altura (B8), el arbolado disperso (N2) y el suelo desnudo (N6), de las zonas residenciales la zona de alta densidad y baja altura (B3) presenta menor variabilidad (Gráfico N°1).

*Gráfico N°1. Comportamiento de la temperatura de emisión satelital según Zonas Climáticas Locales (ZCL)*



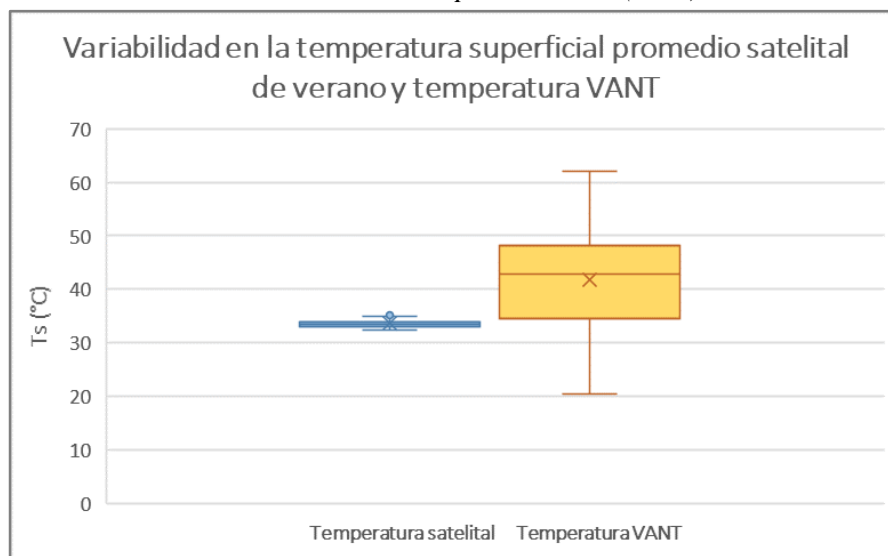
Fuente: Elaboración propia, 2022

Cabe señalar que de acuerdo a los datos proporcionados en el marco del proyecto FONDEF IDeA ID20I10378 “Modelo de simulación del clima urbano para apoyar la toma de decisiones de planificación sensible al clima en Chile” (2020-2022), la ZCL B3 ocupa una superficie de 32,9 % a nivel comunal siendo la más amplia, y pese a que su variabilidad no supera los dos grados, presenta valores atípicos, es decir puntos donde la temperatura está fuera de los límites. Dado que para una misma ZCL el comportamiento climático es más homogéneo, para explorar internamente el fenómeno, se abordó mediante un análisis a microescala.

## 4.2- Temperatura satelital y temperatura obtenida mediante VANT

Respecto a la comparación entre la temperatura superficial satelital y la captada por dron, la temperatura satelital de verano 2013-2021 describe un comportamiento más suavizado y un promedio considerablemente más bajo en la mayoría de los escenarios estudiados, mientras que la temperatura a microescala (vehículo aéreo no tripulado, dron) presenta mayor variabilidad atribuible a extremos de altas y bajas temperaturas captadas en la cobertura de elementos individuales específicos que la imagen satelital no refleja (Gráfico N°2).

*Gráfico N°2. Variabilidad de la temperatura satelital y temperatura superficial captada por vehículo aéreo no tripulado VANT (dron)*



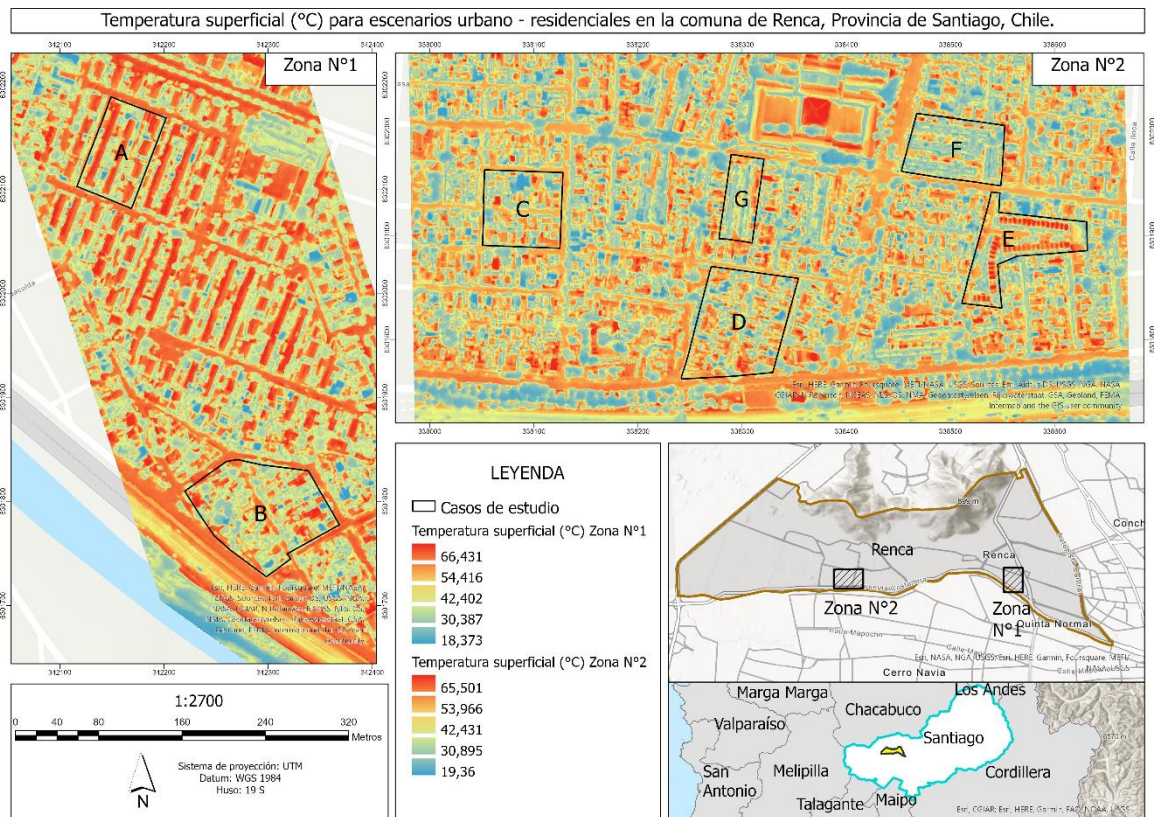
Fuente: Elaboración propia, 2022

La imagen de temperatura captada por el dron mostró de manera acentuada las superficies más frías y más cálidas, lo que se ve traducido en una distribución o variabilidad espacial más heterogénea de los valores termales, lo anterior puede validar la utilidad de trabajar a microescala si se requiere analizar comparativamente la superficie de diferentes esquemas de diseño urbano (Figura N°14). Sin embargo, en este punto uno de los aspectos a tener en cuenta es que la variabilidad de la temperatura superficial rescatada por dron evidencia las implicancias de los microclimas propiciados por las diferentes rugosidades del tejido residencial. Luego de esto, es posible evidenciar la dinámica descrita por Voogt & Grimmond (2000) donde la heterogeneidad de la superficie urbana está acompañada de mayores variaciones de la temperatura superficial a pequeña escala.

En el contexto del área de estudio, las modificaciones y mejoras en las viviendas por parte de los residentes han complejizado aún más el comportamiento de la ventilación, la sombra, radiación incidente y reflejada dentro del cañón urbano, la interacción entre la diversidad de estructuras con distintas alturas y fachadas altera los patrones originales. Determinadas viviendas difieren cada una respecto de su vivienda contigua, de forma que los barrios y los diferentes escenarios residenciales son menos uniformes, pues han diversificado la rugosidad urbana y la composición de los materiales,

en consecuencia, las propiedades energéticas difieren de las propiedades que presentaban inicialmente, con ello resulta más complejo reconocer patrones microclimáticos a lo largo de la calle y no se reconocen diseños homogéneos. En esta misma línea, las transformaciones de la morfología a microescala han llegado incluso a modificar levemente los anchos de calle y la distancia entre fachadas, cuando hay cambios en la línea oficial para el caso de las calles y en la línea de edificación cuando se trata de ampliaciones delanteras. Por estos motivos, dentro de una calle diferentes secciones transversales también pueden mostrar diferencias en sus descriptores de geometría. Algunos de los cambios mencionados se pueden observar en el escenario C, donde gran parte de las viviendas han sufrido modificaciones, como consecuencia esto tiene efectos climáticos en el espacio urbano exterior.

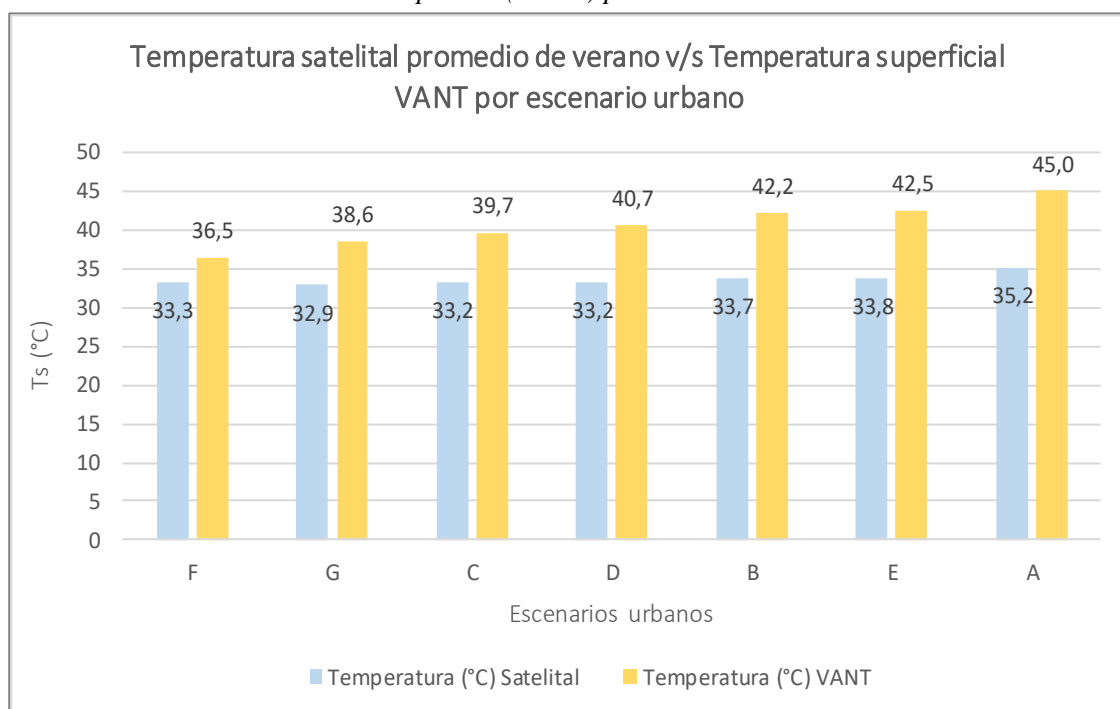
Figura N°14. Temperatura superficial (°C) en los escenarios urbano - residenciales.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Se obtuvieron los promedios de temperatura superficial por escenario residencial a partir de la imagen satelital y la imagen obtenida por dron (VANT). Al reconocer los valores promedio de temperatura superficial por cada escenario, se da cuenta de un comportamiento mucho más homogéneo para la temperatura satelital respecto a los valores termales a microescala (VANT). En síntesis, la temperatura satelital aparenta menos contraste, sin embargo, también se reconocen patrones distinguibles como en las diferentes zonas climáticas locales. Desde otra perspectiva, esta condición también queda en evidencia al comparar ambas temperaturas para los escenarios residenciales escogidos, donde aquellos ubicados en la zona de alta densidad y media altura (B2) (F, G) presentaron bajas temperaturas tanto en la imagen satelital como en la temperatura a microescala (VANT), algo similar ocurrió con los escenarios de mayor temperatura como los casos A, B y E pertenecientes a la zona de alta densidad y baja altura (B3) (Gráfico N°3). Sobre la comparación de la temperatura satelital y la temperatura a microescala (VANT), para el caso de los valores altos, a nivel general, siguen el comportamiento descrito por Smith et al. (2021), es decir, a pesar de los diferentes niveles de detalle y de rango de valores termales, cuando la temperatura es mayor en la imagen satelital, la imagen a microescala también sigue dicha tendencia.

Gráfico N°3. Temperatura satelital promedio de verano y Temperatura superficial de vehículo aéreo no tripulado (VANT) por escenario urbano.

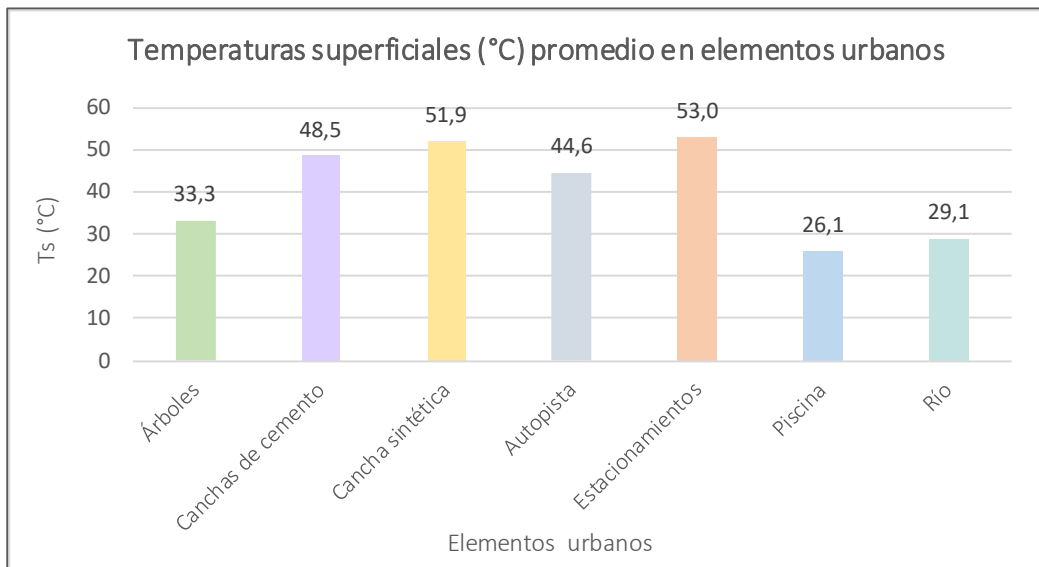


Fuente: Elaboración propia, 2022

### 4.3- Temperatura superficial VANT en escenarios urbanos

Respecto a las temperaturas superficiales captadas exclusivamente por el vehículo aéreo no tripulado (VANT) o dron, a modo de contextualizar el entorno urbano, se encuentran algunos elementos como las canchas de cemento que registraron una  $T_s$  media de  $48,5^{\circ}\text{C}$ , la cobertura de la cancha sintética del estadio municipal de Domingo Santa María que alcanzó una  $T_s$  media aproximada de  $51,9^{\circ}\text{C}$ , por su parte, los árboles evidenciaron menores temperaturas con una media aproximada alrededor de los  $33,3^{\circ}\text{C}$ , mientras que en la autopista se estimaron  $44,6^{\circ}\text{C}$ . De la cobertura de elementos urbanos una de las más altas fue en los estacionamientos con  $53^{\circ}\text{C}$  y como era de esperar, las menos cálidas en el río con  $29^{\circ}\text{C}$  y en la piscina municipal  $26^{\circ}\text{C}$  (Gráfico N°4).

Gráfico N°4. Temperaturas superficiales promedio a microescala para diferentes elementos urbanos.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Respecto a los 7 escenarios de diseño urbano – residencial seleccionados, en la planimetría del cuadro de acercamiento caso a caso, se muestra la superficie predial (gris oscuro) y la superficie total de los conjuntos residenciales a partir de los cuales se calculó la temperatura por escenario urbano (Figura N°15).

Figura N°15. Escenarios urbano-residenciales en la comuna de Renca.

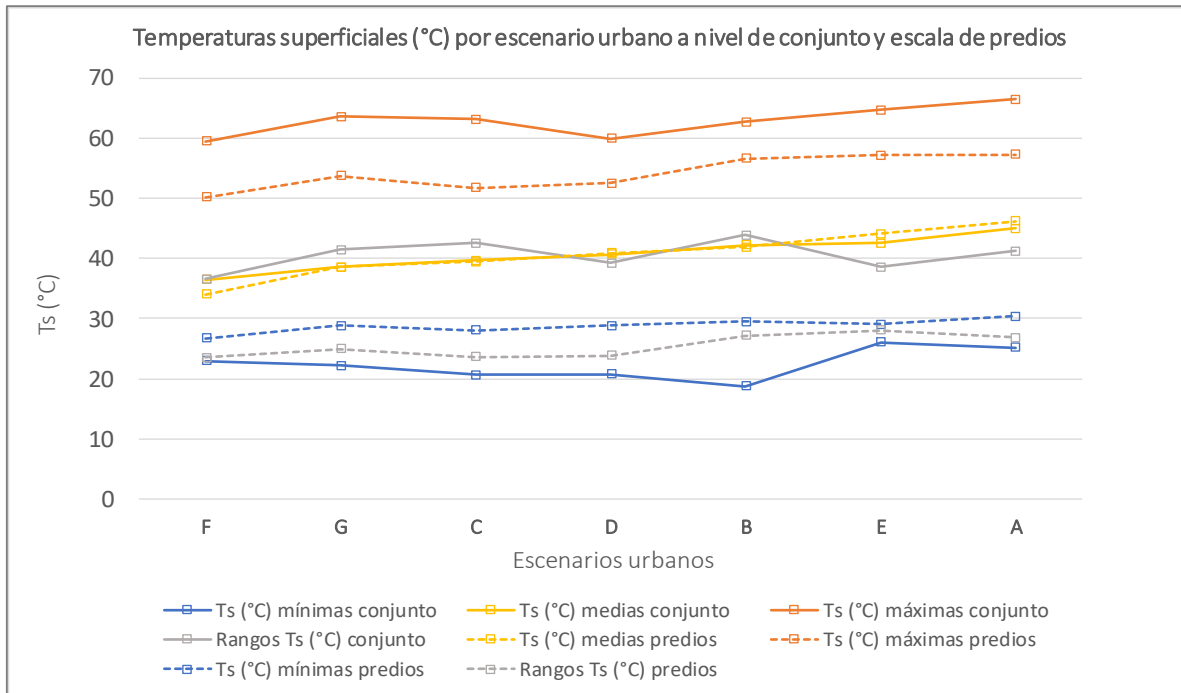


Descripción: La figura n°15 corresponde a un diagrama de acercamiento por cada escenario urbano de uso residencial, en el diagrama se expone la planimetría de predios y manzanas, la imagen aérea y la imagen termal obtenida de la conversión de los valores de temperatura superficial, además se indica la zona sobrevolada y la respectiva Zona Climática Local (Elaboración propia, 2022).



A continuación, en el gráfico n°5 se exploraron las temperaturas superficiales por cada escenario urbano residencial, al mismo tiempo se distinguieron dos escalas o niveles de detalle, la escala predial (líneas segmentadas) y la escala de conjunto o manzana (línea continua), esta última representa la totalidad de la superficie de cada escenario residencial.

*Gráfico N°5. Resumen de temperaturas superficiales promedio para los escenarios urbano-residenciales a escala conjunta y predial.*



Fuente: Elaboración propia, 2022

A partir del gráfico comparativo (Gráfico N°5) que resume los valores termales de mínimas, medias, máximas y el rango de temperatura superficial (°C) promedio en la escala de conjunto o manzana (líneas continuas) y en la escala de predios (líneas segmentadas), se advierte que la escala de conjunto es más apropiada para explicar la variabilidad de la temperatura superficial a partir de los valores máximos y mínimos, esto queda en evidencia por un rango promedio de Ts (°C) mayor que a escala predial (línea gris). Lo anterior se debe a que la escala de conjunto o manzana, considera un espectro mayor de superficies, integrando la calle, la acera y espacios forestados, mientras que la temperatura a escala de predios se restringe solo al límite de las viviendas, patios y jardines interiores.

Respecto a las Ts (°C) máximas, en todos los escenarios a nivel de conjunto se presentan valores mayores que a nivel de predios, revelando la contribución de las superficies de asfalto exterior en las ganancias de temperatura. Respecto a las Ts (°C) mínimas, a nivel de conjunto son menores (más frías) que a nivel de predios, lo que podría explicar la amplitud de los rangos. En síntesis, la medición en las superficies totales donde se recoge el conjunto de todos los elementos, caras o facetas horizontales, capta valores más extremos, muy cálidos o muy fríos. Por último, en las Ts (°C) medias existe mayor correspondencia entre ambas escalas, ya que las curvas de conjunto y de predios por cada escenario residencial tienden a aproximarse.

El comportamiento termal medio para ciertos escenarios de diseño residencial aparenta ser plano, pero se observaron diferencias internas dentro de la misma zona climática local, por mencionar un ejemplo se encuentra el caso A y C, ambos de la zona B3 donde existen 5°C de diferencia. Respecto a la comparación entre zonas climáticas locales distintas, los diseños residenciales de la zona de alta densidad y media altura (B2) promediaron una temperatura de 38°C mientras que en la zona de alta densidad y baja altura (B3) 42°C, una diferencia de 4°C, lo que confirma, al menos para el parámetro estudiado, que existen diferencias internas y entre ZCL distintas.

Dentro de las superficies más determinantes para explicar los comportamientos analizados, corresponde al techo de las viviendas. Los techos constituyen una importante fuente de intercambio de calor, tanto de ganancias como de pérdidas (Oke et al., 2017). Los casos A y E evidencian dicha condición, el caso A corresponde a viviendas con orientación E-O y las temperaturas altas (53°C) se debieron principalmente a techos de aspecto desgastado, que de acuerdo a los datos del censo (2017) están conformados principalmente por planchas de tipo metálicas. Por su parte, el caso E se trata de un conjunto de viviendas sociales con diferentes orientaciones y cubiertas con techos de gris oscuro (52°C), cabe mencionar que las propiedades ópticas de las superficies pueden influir en el albedo y el intercambio de calor puede resultar desfavorable durante el verano. Otro escenario característico corresponde al de los bloques habitacionales F y G, de orientación opuesta N-S y E-O respectivamente para las aguas del techo, ambos presentaron menores temperaturas sobre la cobertura de los techos, 33°C para el caso F y 34°C para el caso G. Cabe mencionar que la orientación de las aguas y de las fachadas difiere de la orientación del eje vial, siendo uno de los factores que explica las diferencias en la radiación directa recibida y en qué medida esta condiciona las temperaturas superficiales del techo y de la calle respectivamente.

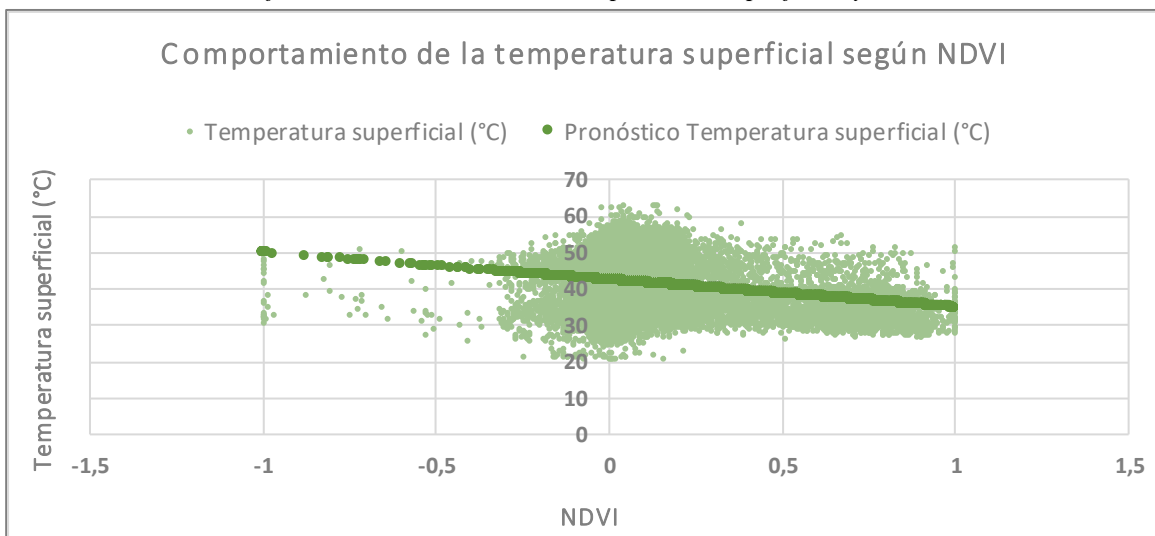
En síntesis, respecto a los 7 escenarios estudiados, los diseños A, B y E presentaron las mayores temperaturas. Para los casos A y B de diferente orientación, las temperaturas se vieron acentuadas por la textura desgastada y oscura de los techos, mientras que el caso E corresponde a una construcción más reciente, pero presenta techos oscuros que también describen un comportamiento cálido. Los casos F y G presentaron las menores temperaturas, F orienta las aguas del techo en sentido N-S y G en sentido E-O, pero ambos presentan un comportamiento más bien frío por las características de la cobertura de los techos y las condiciones de protección y sombra propiciadas por la altura de los bloques habitacionales. Por otra parte, los casos C y D se encuentran en una situación térmica intermedia, en los techos del caso D predomina la orientación E-O, pero las modificaciones en las viviendas reconfiguraron las superficies horizontales y para ambos escenarios (C, D) existen techos de cobertura oscura y clara y aguas orientadas en diferentes sentidos.

#### 4.4- Relación entre temperatura superficial y características urbanas

##### 4.4.1- Índice de vegetación de diferencia normalizado o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

El primer descriptor es ambiental y corresponde al índice de vegetación de diferencia normalizado. Respecto a los 7 casos analizados la curva de regresión ajustada entre temperatura superficial (°C) (eje y) y NDVI (eje x) indica un leve descenso o cambio descendente de la temperatura a medida que se eleva el NDVI, confirmando una relación inversa entre las variables, lo que indicaría la importancia del índice para evaluar condiciones que propician enfriamiento (Gráfico N°6).

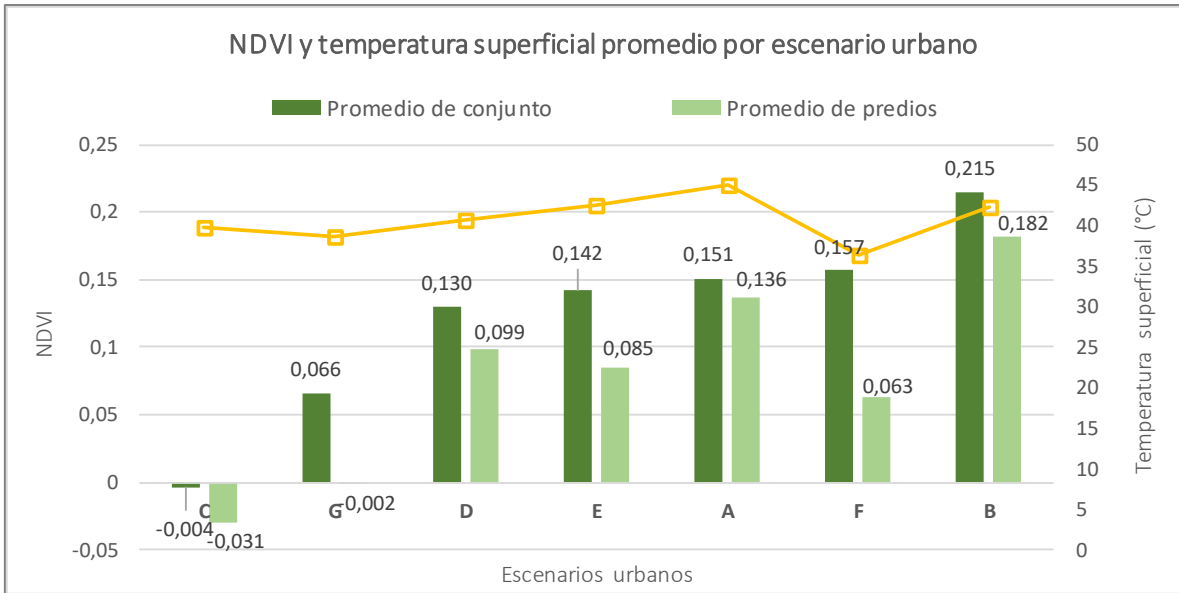
Gráfico N°6. Relación entre Temperatura superficial y NDVI



Fuente: Elaboración propia, 2022

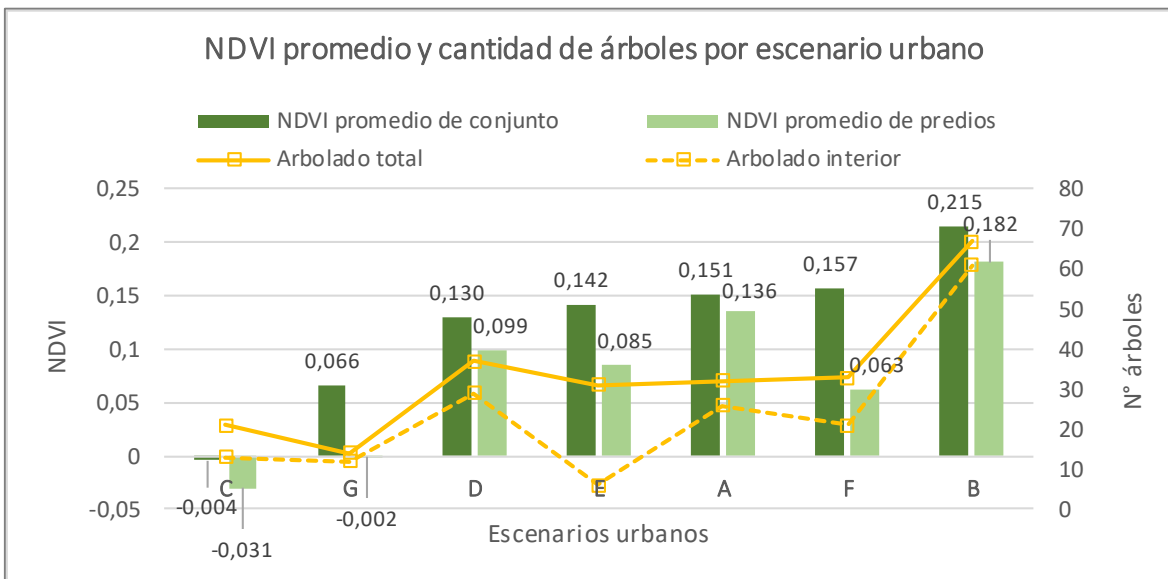
Como es de esperar, el NDVI en zona urbana carece de valores altos, en este contexto se constató que existe una gran concentración de datos termales en torno a 0, lo que demuestra una tendencia de las superficies impermeables, más cálidas y con menor NDVI probablemente asociado a menor arborización, de igual forma existen valores más altos donde la temperatura describe un cierto descenso entre los 30 y 40 °C. Respecto a la comparación entre diseños residenciales no existe una clara relación ya que no se aisló el NDVI de la influencia de otros elementos sobre la temperatura superficial (Gráfico N°7), sin embargo, sí se encontró un vínculo directo o positivo con la arborización, donde los escenarios con mayor cantidad de árboles totales como el caso B presentaron mayores índices de NDVI (Gráfico N°8).

Gráfico N°7. Temperatura superficial y NDVI por escenario urbano



Fuente: Elaboración propia, 2022

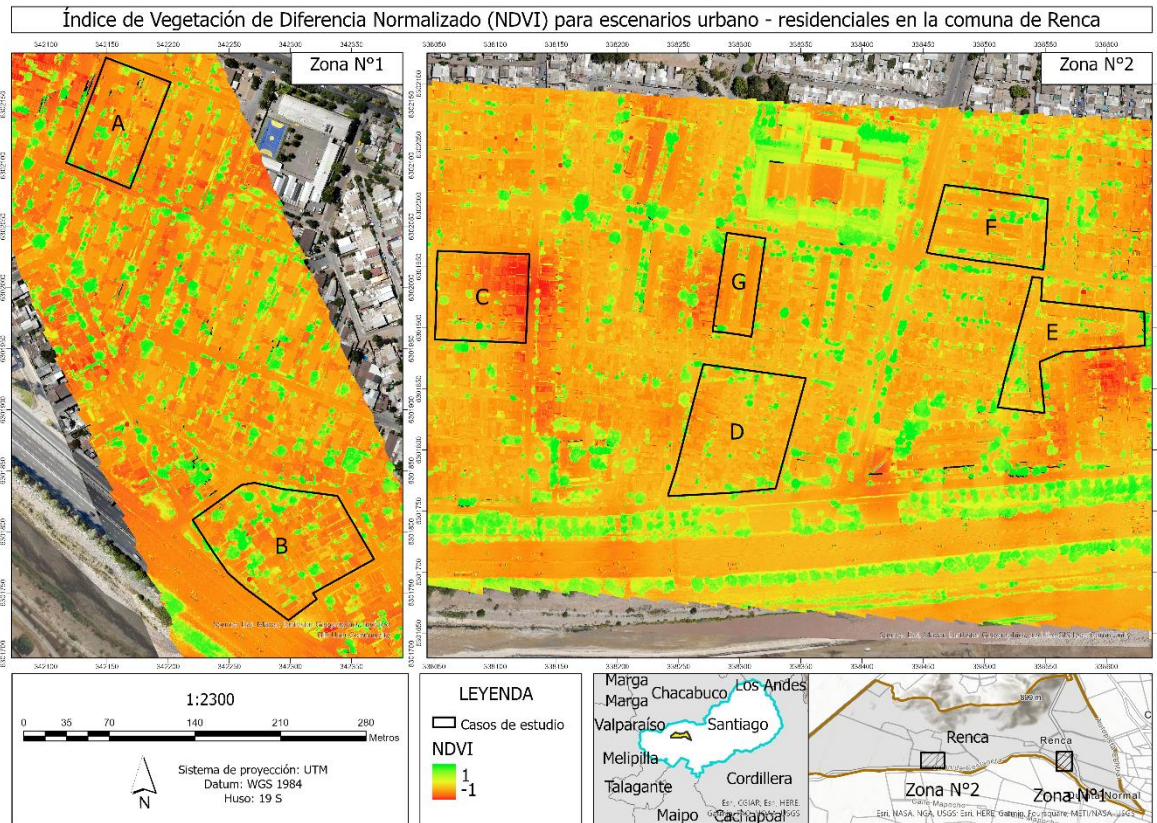
Gráfico N°8. NDVI y arbolado por escenario urbano



Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura N°16 es posible apreciar la mayor presencia de arbolado urbano en escenarios residenciales más amplios como el caso B. Al mismo tiempo, se observa como la morfología de los tejidos residenciales condiciona la disposición espacial de la arborización.

Figura N°16. NDVI para escenarios urbano-residenciales

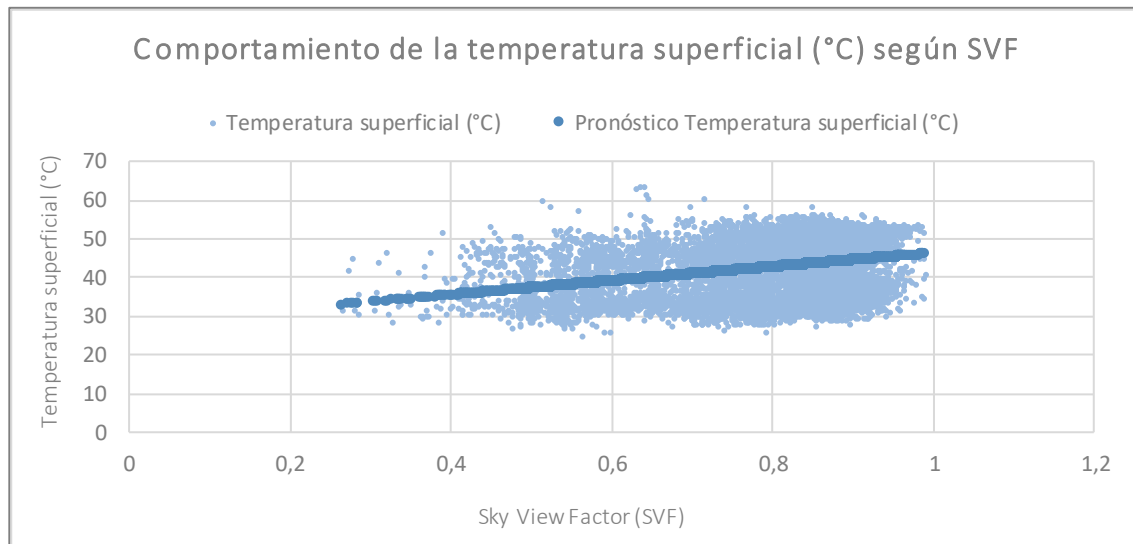


Fuente: Elaboración propia, 2022

#### 4.4.2- Factor de visión de cielo o Sky View Factor (SVF)

Para los escenarios estudiados, la curva de regresión ajustada describe la dispersión de los puntos termales conforme cambia el factor de cielo visible (Gráfico N°9), para este caso se pronostica un leve incremento de la temperatura superficial (°C) a medida que aumenta el SVF, cumpliendo con una relación positiva entre ambas variables durante el día. De esta forma, el comportamiento de la temperatura superficial oscila entre los 20 y 70°C con una gran concentración de datos en torno a los 0,8 de SVF.

Gráfico N°9. Relación entre Temperatura superficial y SVF

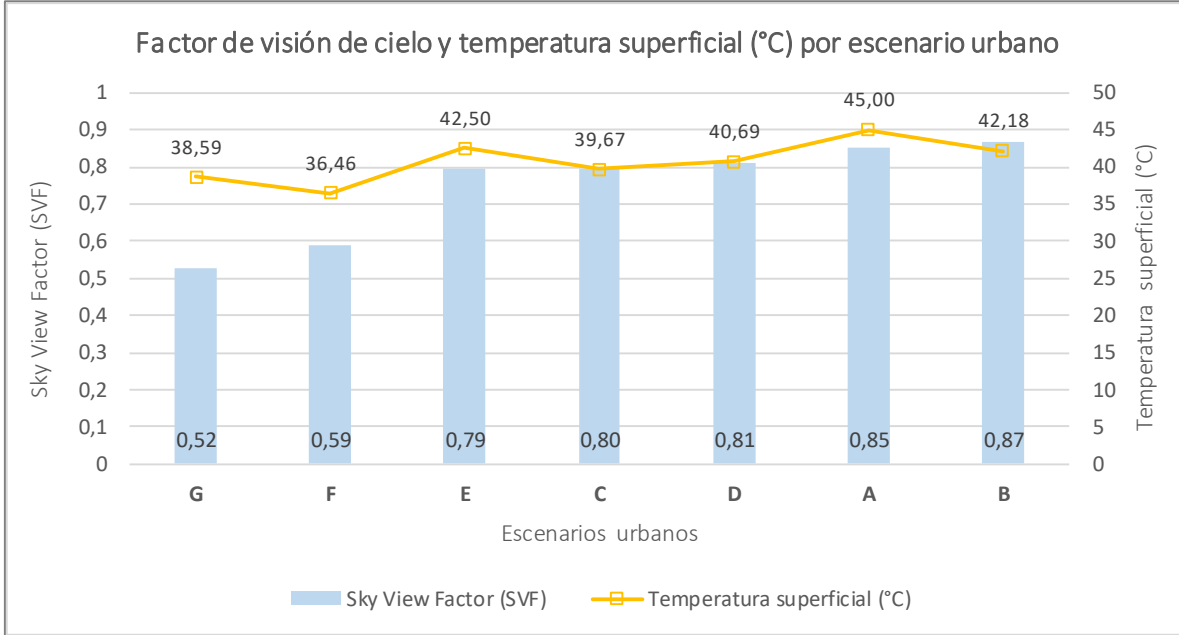


Fuente: Elaboración propia, 2022

Respecto del análisis individual de los casos de estudio y la contribución del factor de cielo visible sobre las temperaturas medias, los escenarios con SVF entre 0,85 y 0,87, tuvieron valores termales más altos, como A y B (Alta densidad y baja altura, ZCL B3) (Gráfico N°10). En contraparte, los escenarios residenciales compuestos por bloques de tres pisos como F y G (Alta densidad y media altura, ZCL B2) que describieron un menor SVF entre 0,52 y 0,59, mostraron menor temperatura superficial (Gráfico N°10). Sin embargo, los resultados mencionados se encuentran influidos por elementos tales como la superficie de los techos, techos especialmente cálidos para los casos A y B y techos más bien fríos para el caso de los bloques habitacionales F y G. Por otro lado, existe un grupo de escenarios residenciales ubicados en una situación intermedia, como fue el escenario E, que pese a no contar con un SVF considerable respecto a los demás diseños residenciales describe valores termales altos, en este sentido, respecto a la influencia del factor de visión de cielo, la temperatura superficial responde a factores geométricos, pero también a condiciones energéticas propias de la materialidad. En el escenario E las altas temperaturas también se asocian a los techos (Gráfico N°10). De lo anterior se desprende que los resultados de temperatura superficial por escenario residencial no responden exclusivamente al factor de cielo visible, más bien, se explican de manera multifactorial. Cabe mencionar que aquellos escenarios con menor SVF presentaron menor temperatura superficial, pero no necesariamente presentan condiciones frías durante la noche, considerando que el factor geométrico y aerodinámico puede retrasar el enfriamiento, en este punto cobraría sentido lo

constatado por Oke (1982, 1987) donde la variación o diferencia nocturna en la temperatura de la ICU es mayor conforme el SVF disminuye, en consecuencia se presenta un efecto de atrapamiento e intensidades considerables en la isla de calor urbano.

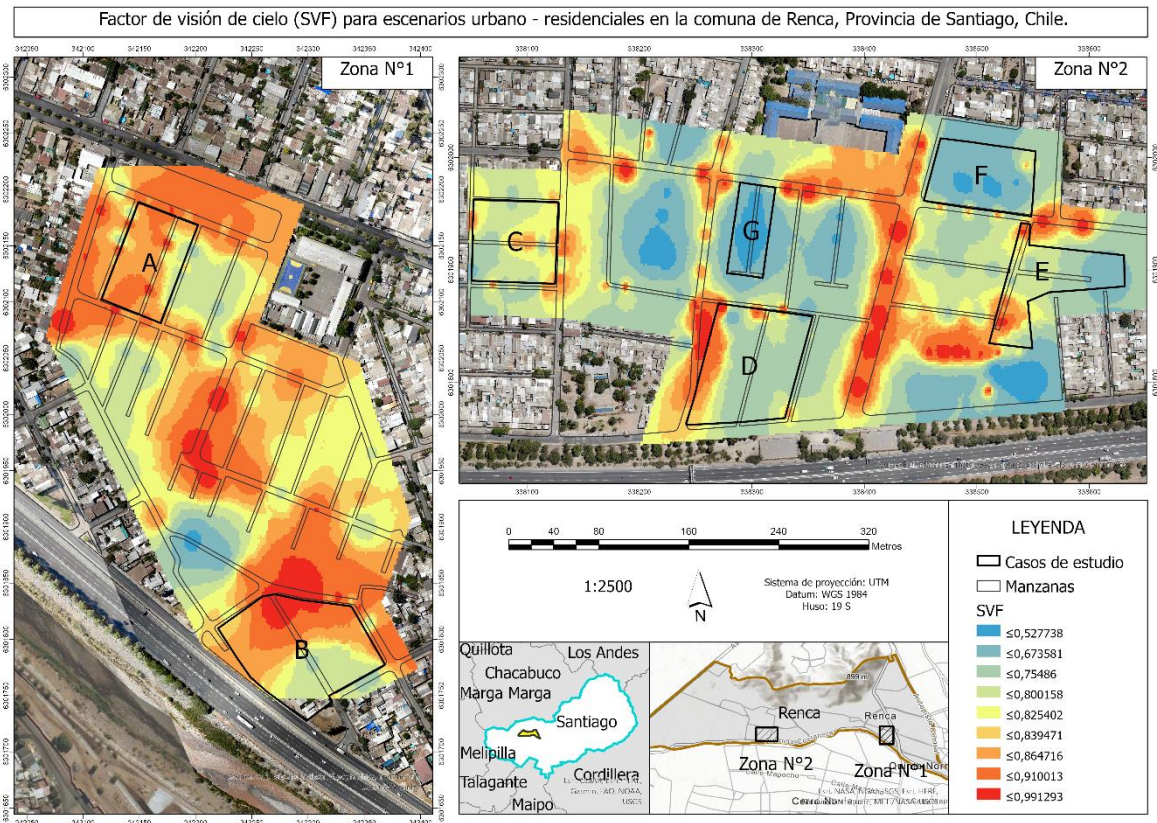
Gráfico N°10. Temperatura superficial y SVF por escenario urbano



Fuente: Elaboración propia, 2022

En síntesis, respecto a la figura n°17 los escenarios residenciales de tres pisos F y G pertenecientes a la zona climática local de alta densidad y media altura (ZCL B2) presentan menor factor de visión de cielo (tonos celestes). Por su parte, los escenarios pertenecientes a la zona de alta densidad y baja altura (ZCL B3) como el caso A y B cuentan con mayor factor de visión de cielo (tonos rojizos), el mismo patrón se observa en espacios más extendidos y abiertos como intersecciones, avenidas o sitios en desuso, con valores entorno a los 0,86, donde la superficie está más expuesta (Figura N°17).

Figura N°17. Factor de Visión de Cielo (SVF) para escenarios urbano - residenciales en la comuna de Renca.



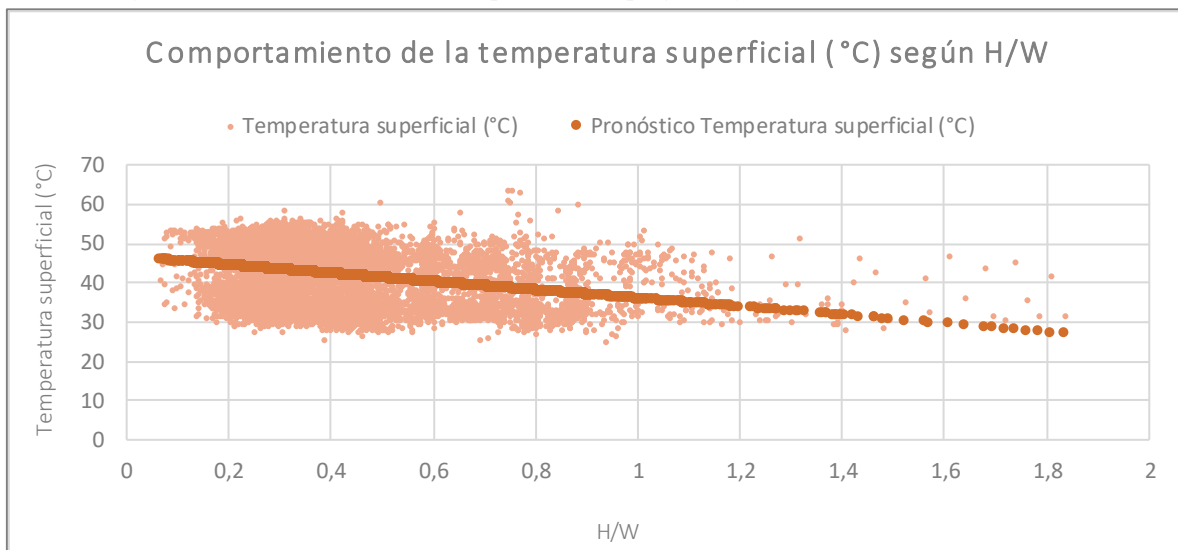
Fuente: Elaboración propia, 2022



#### 4.4.3- Factor Alto / Ancho (H/W)

En conjunto con el factor de visión de cielo (SVF), se analizó la relación de aspecto o fracción Altura/Ancho (H/W), donde se reconoce claramente que el comportamiento y el pronóstico de la temperatura superficial según el factor H/W es opuesto al del SVF. Es decir, existe una menor concentración de valores termales altos conforme el factor H/W es mayor. Los valores de temperatura superficial oscilan entre 20 y 70°C, pero el descriptor Altura/Ancho se relaciona inversamente, pues a medida que aumenta, la temperatura disminuye (Gráfico N°11). Con esto, se ratifica la importancia de la altura y/o estreches de calles dentro de la fracción H/W, ya que los diseños urbanos con cañones o ejes viales profundos, flanqueados por bloques altos y seccionados por calles angostas, tienden a recibir menos radiación incidente, explicado también por menor factor de cielo visible.

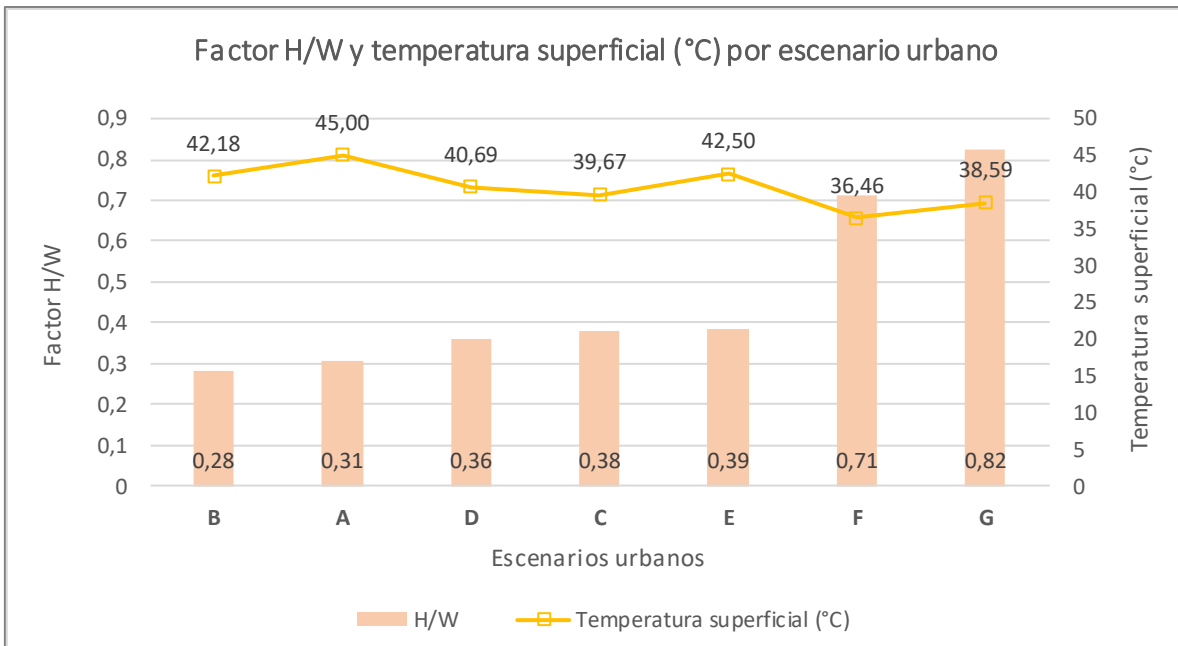
Gráfico N°11. Relación entre Temperatura superficial y Factor Altura / Ancho (H/W)



Fuente: Elaboración propia, 2022

Al individualizar los escenarios residenciales, el H/W es mayor para escenarios con diseño de bloques habitacionales (F, G) pertenecientes a la zona climática local de alta densidad y media altura (B2), de esta forma los mayores valores se atribuyen a bloques de 3 pisos y presentan temperaturas superficiales (°C) levemente más bajas (Gráfico N°12). Como se mencionó, el comportamiento es inverso al SVF, de esta forma, el escenario con menor SVF es aquel con mayor fracción H/W. Sin embargo, al igual que en el SVF, para el factor H/W los resultados de la temperatura superficial en los escenarios residenciales no se deben solo al factor geométrico en particular de los cañones urbanos, pues también se encuentran condicionantes como la materialidad de otras superficies que afectan las temperaturas medias.

Gráfico N°12. Temperatura superficial y factor H/W por escenario urbano

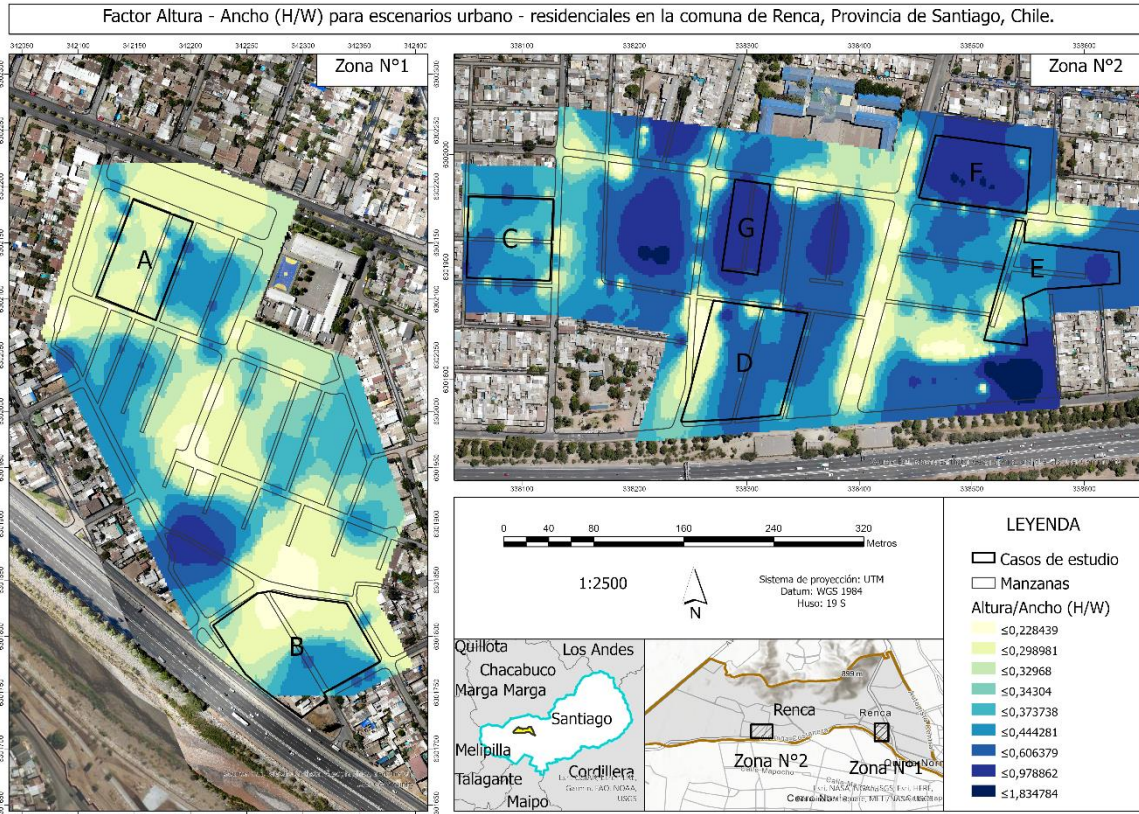


Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura N°18 se observa el contraste entre la morfología del sector poniente y el sector oriente a partir del descriptor Altura y Ancho. En la zona 2 (poniente) se observan más valores entorno a los 0,6 (tonos azules), lo que se explica por la presencia de bloques habitacionales y viviendas de 3 pisos (E, F, G), justamente el diseño F y G formado por bloques presentan los mayores valores H/W con 0,71 y 0,82 respectivamente, cercano a lo que constituiría un cañón uniforme, de valores en torno a 1. Respecto a la zona 1 (oriente) se encuentran escenarios con diseños más abiertos donde destaca el ancho (tonos claros), como los casos A y B, los cuales presentan una menor fracción H/W en torno cercanos a 0,3, constituyendo escenarios residenciales con cañones poco profundos. Además, fue posible reconocer valores bajos en avenidas e intersección de calles, dependiendo de la configuración espacial de los barrios (Figura N°18). En síntesis, de acuerdo a la clasificación mencionada por Shishegar (2013) y respecto a los siete casos analizados, no existen cañones profundos y todos los escenarios compuestos por viviendas configuran cañones poco profundos pues se encuentran por debajo de los 0,5, por su parte los escenarios compuestos por bloques habitacionales (F, G) están más cercanos a la categoría de corredores uniformes, de valor en torno a 1.

En general, respecto al diseño de los escenarios estudiados, una mayor altura también es un reflejo de un factor de visión de cielo (SVF) menor y una mayor fracción Altura y Ancho. Por último, las Zonas Climáticas Locales también mantienen relación con ambos descriptores, pues los escenarios residenciales con un diseño más cerrado, compacto o protegido ubicados en la zona climática de alta densidad y media altura (B2) mostraron menores temperaturas superficiales que los escenarios de la zona de alta densidad y baja altura (B3).

Figura N°18. Factor Altura y Ancho (H/W) para escenarios urbano - residenciales en la comuna de Renca.

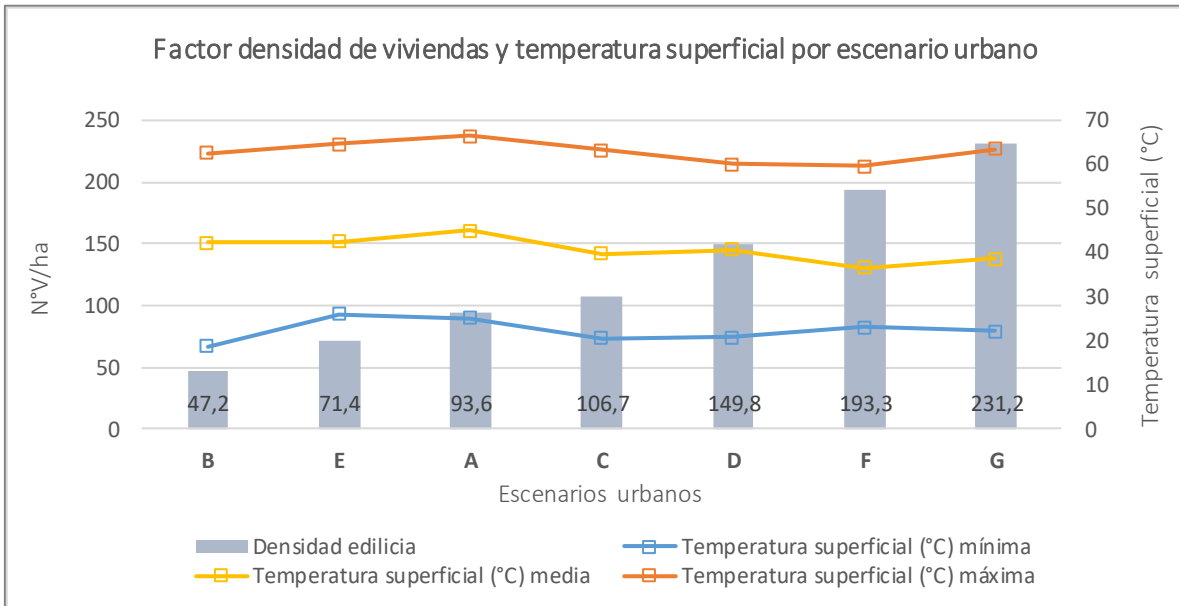


Fuente: Elaboración propia, 2022

#### 4.4.4- Densidad de viviendas y volumen por área

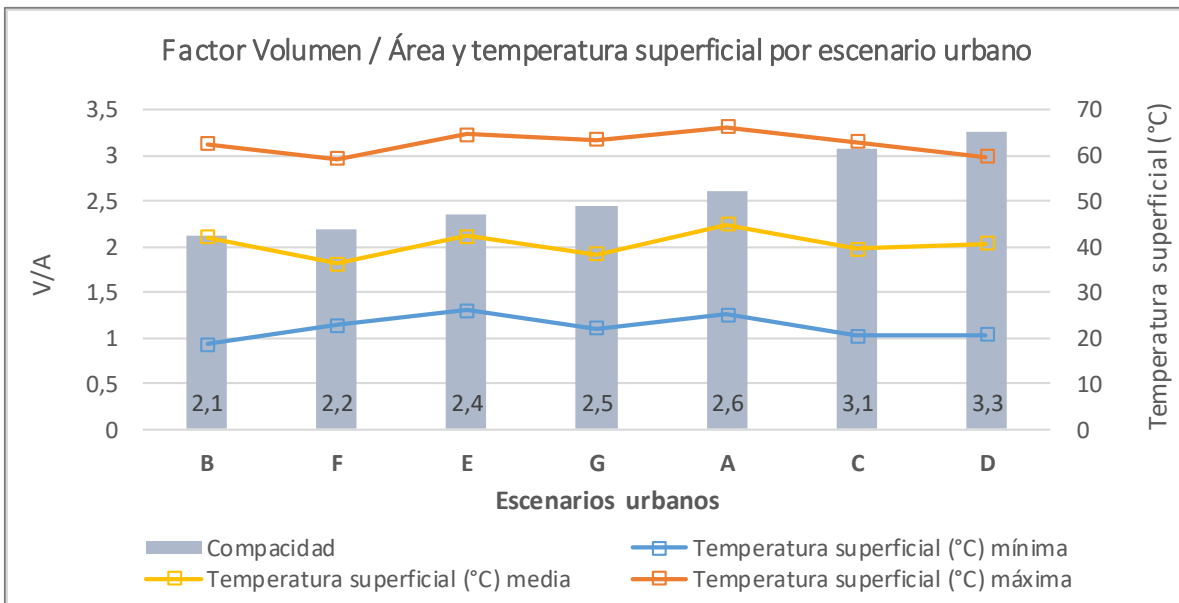
Respecto a los escenarios residenciales, los casos F y G compuestos por bloques de 3 niveles deben analizarse en su justa medida ya que se consideró el número de viviendas interiores, es decir la cantidad de viviendas por bloque afecta el resultado del factor de densidad edilicia (N° Viviendas / Hectárea) explicando la disparidad respecto a los otros diseños. Dicho esto, al analizar los 7 escenarios residenciales, no existe una relación marcada entre la densidad de viviendas (Gráfico N°13) y factor de Volumen / Área (Gráfico N°14) con la temperatura superficial.

Gráfico N°13. Temperaturas superficiales mínima, media y máxima y factor N° viviendas / ha, por cada escenario urbano.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Gráfico N°14. Temperaturas superficiales mínima, media y máxima y factor Volumen / Área, por cada escenario urbano.

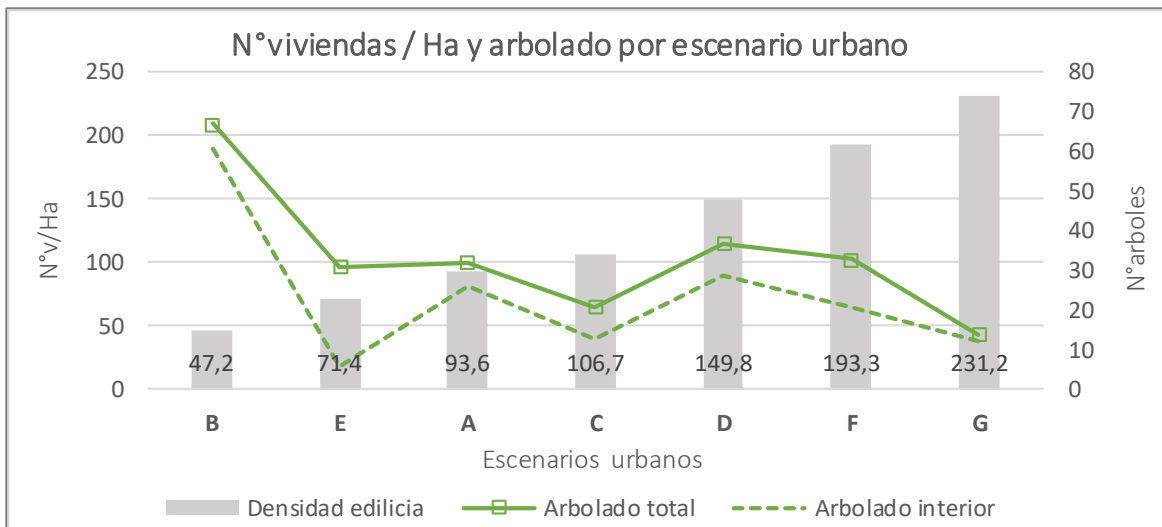


Fuente: Elaboración propia, 2022

#### 4.4.5- Arborización urbana

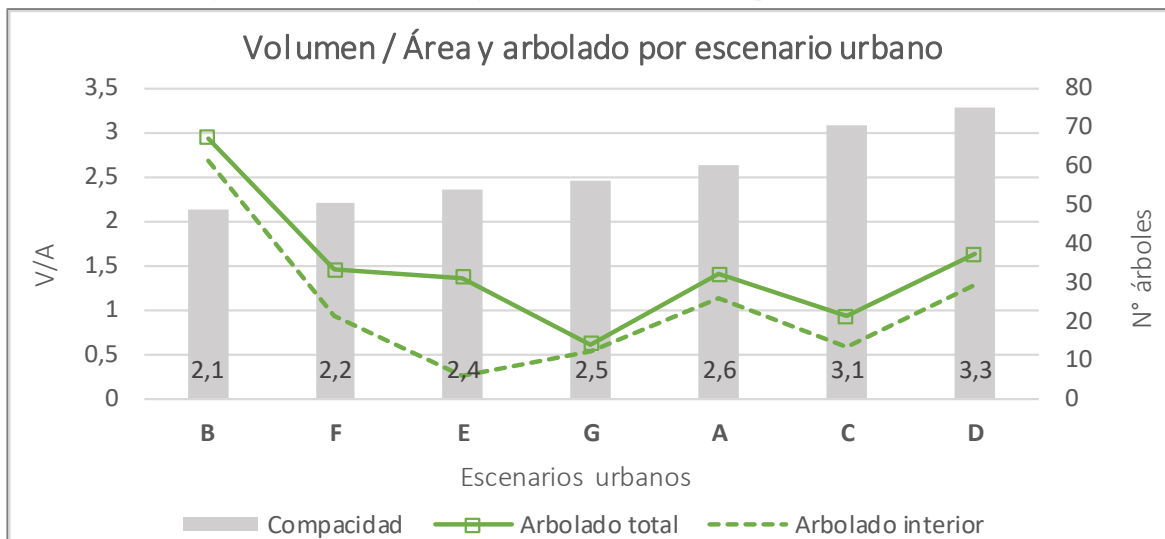
Respecto al arbolado urbano, conforme a los gráficos N°15 y N°16, a excepción de los bloques habitacionales, se constató que los escenarios residenciales caracterizados por una menor densidad edilicia (N°viviendas/Ha) tienden a un mayor número de forestales, pero no se encontró una relación clara con el descriptor Volumen/Área. De todas formas, los escenarios con diseños más densos y compactos presentaron menor arborización, en contraparte los escenarios más abiertos y extendidos se encuentran provistos de más vegetación, como el caso B. Una de las razones que explica el conteo de árboles en escenarios densos, es el pequeño tamaño de los patios interiores donde no existe arbolado y la forestación depende principalmente de los espacios urbanos exteriores como la acera.

Gráfico N°15. Arbolado y factor N° viviendas / ha, por escenario urbano



Fuente: Elaboración propia, 2022

Gráfico N°16. Arbolado y factor Volumen / Área, por escenario urbano



Fuente: Elaboración propia, 2022

#### 4.5- Escenarios residenciales y lineamientos de diseño urbano

Luego de la obtención de los descriptores urbanos y ambientales, se puede decir que a partir del factor de visión de cielo o Sky View Factor (SVF) y de la fracción Altura y Ancho (H/W) es posible reconocer escenarios residenciales con cañones urbanos de diferente profundidad. En los cañones poco profundos destacará el espacio horizontal y estarán más expuestos a la radiación, mientras que en los cañones más profundos se propician mejores condiciones de sombra. Por otro lado, a partir de los descriptores de Número de viviendas por hectárea y el factor Volumen y Área (Volumen/Área) se reconocen escenarios residenciales con diseños más compactos o bien diseños más extendidos. Los escenarios compactos y densos suelen contar con menos arborización de predios, pero no necesariamente mayores temperaturas, mientras que aquellos escenarios con diseños más extendidos o abiertos suelen contar con más arbolado, pero esto no se traduce necesariamente en condiciones frías. Cabe mencionar, que existe un cierto comportamiento de la temperatura que no se explica con los factores antes mencionados, debido a características propias en la composición de las viviendas.

Respecto al descriptor ambiental NDVI y la arborización urbana, la vegetación como factor influyente en la medición de temperatura superficial y NDVI depende en primera instancia de la configuración espacial de predios y manzanas, lo cual determina la densidad y disposición del arbolado urbano. También se puede decir que existen diferencias entre las viviendas con espacios individuales frente a los de uso compartido, las viviendas con antejardín y patios traseros pueden contar con arbolado al interior del predio, contribuyendo de manera individual con las condiciones de enfriamiento. Los bloques habitacionales con un espacio exterior amplio y compartido, pero sin patios y antejardines individuales, contarán con arbolado exterior y por lo general más frondoso, donde será más apropiado analizar el número de forestales a nivel de manzana o conjunto, como indicativos de la influencia del arbolado urbano. Respecto de los casos analizados, se revela que, a excepción de los bloques habitacionales, los escenarios residenciales con mayor número de viviendas por hectárea ( $N^{\circ}V/Ha$ ) suelen contar con menos arbolado, esto se dio en el caso C donde predomina la cobertura de los techos, en contraparte, los esquemas de diseño como el B, con predios de mayor superficie y espacios extendidos, cuentan con más árboles.

Una posible medida de mejora ambiental corresponde a la densificación del arbolado exterior en escenarios compactos con predios pequeños, de esta forma compensar con árboles de baja o media altura la escasa vegetación al interior de jardines o patios. Cabe mencionar, que la arborización se puede incorporar tanto en etapas previas como posteriores de la planificación urbana. Otra medida dirigida a la generación de sombra y enfriamiento de las superficies, es el mejoramiento de espacios exteriores públicos, arborizando plazas desforestadas, franjas o espacios residuales, con la introducción de especies de menor demanda hídrica o más versátiles como los árboles de hoja caduca, con ello generar sombras durante el periodo estival, al mismo tiempo potenciando dichos espacios mediante superficies con mejores condiciones de humedad y permeabilidad. Por otra parte, siguiendo los planteamientos de Oke et al. (2017) la orientación de las calles se asocia principalmente a las condiciones de ventilación a escala de manzanas y barrios, en este sentido las tramas de retículas regulares permiten una conducción más libre de los flujos, mientras que la arborización orientada desde la dirección de los vientos fríos puede amortiguar el efecto fraccionando el flujo durante invierno. Otra medida destinada a mejorar el intercambio entre espacios exteriores e interiores a las

envolventes corresponde al manejo de los revestimientos, pese a que en la presente investigación no se abordan las envolventes verticales, éstas tienen efectos en el comportamiento reflectivo de la radiación dentro de la capa de dosel urbano. De acuerdo a esto, la escala predial y de manzana contribuyen a explicar dicha relación. Respecto a la escala predial se encuentran facetas verticales como la fachada y horizontales como el techo de la vivienda, formando parte de la envolvente y siendo de importancia en la evaluación de temperaturas superficiales, mientras que a nivel de manzana se suma la superficie de la calle y la presencia de los árboles. En este sentido, también resulta relevante considerar sus propiedades térmicas ya que pueden tener efectos en ambientes interiores y exteriores.

Cabe señalar, que dentro de los lineamientos destinados a la mitigación y adaptación a las condiciones climáticas se debe considerar el contexto local del entorno natural y los aspectos dominantes de la microescala, es decir con una perspectiva multiescalar, en consonancia con lo planteado por Mills et al. (2010), es decir, las decisiones tomadas en escalas diferentes son dependientes, pudiendo complementarse o contrarrestarse. Al mismo tiempo se debe buscar satisfacer una mejora en la mayoría de los parámetros climáticos articulando las directrices o estrategias de manera combinada.

La relación de los descriptores urbanos con el parámetro de temperatura superficial y las respectivas propuestas se sintetizan en la tabla n°4.

Tabla N°4. Lineamientos de diseño urbano

Descriptorios urbanos y ambientales	Relación con temperatura superficial durante un día de verano	Lineamientos de planificación
SVF	A nivel general, describió una relación directa con la temperatura superficial. Los pasajes sin salida reducen el SVF, pero alteran la circulación de los vientos. En las intersecciones y avenidas del tejido residenciales el SVF aumenta.	Una opción corresponde a la arborización urbana mediante árboles de hoja caduca que ofrezcan sombra en áreas con mayor SVF, más expuestas a la radiación. Las posibles medidas, se abordan considerando el factor de visión de cielo y otros descriptorios como la relación de aspecto del cañón y la orientación de fachadas y aguas del techo.
H/W	A nivel general, describió una relación inversa con la temperatura superficial. En intersecciones, calles amplias o avenidas y entornos con viviendas de baja altura H/W tiende a disminuir. En entornos residenciales con bloques de tres pisos H/W tendió a aumentar.	Con valores bajos de H/W, los extremos de temperatura se podrían mitigar con cañones urbanos más uniformes donde exista un equilibrio entre el ancho vial y la altura, o bien con arborización. Las posibles medidas tienen una estrecha relación con el factor de visión de cielo y la orientación.
NDVI	Mantiene una relación global de tipo inversa con la temperatura superficial. A microescala, los mayores valores se asocian a superficies particulares como los árboles, mientras que los valores bajos se asocian a la calle y los techos.	Propiciar condiciones de humedad y vegetación pueden mejorar el índice NDVI. En general el sector residencial cuenta con bajos valores especialmente en la cobertura de los techos. Los valores altos corresponden principalmente a arbolado en aceras, ya que las áreas estudiadas cuentan con baja presencia de fajas viales forestadas o con cobertura horizontal de césped.
N°viviendas / ha Volumen / Área	No describe una relación clara con la temperatura superficial. Las manzanas más compactas, con predios pequeños y cobertura mayoritaria de techos presentan menor espacio para vegetación interior. La influencia de los diseños más densos puede tener dos sentidos, pudiendo disminuir la superficie adyacente expuesta a la luz solar o disminuir la disponibilidad de espacio para arbolado.	Las manzanas más compactas pueden compensar sus condiciones urbano ambientales con arbolado en aceras. La compactidad de las manzanas mejora con la presencia de plazas públicas, lo cual le otorga una morfología más extendida y abierta, proporcionando espacios versátiles con servicios ambientales. El n° de viviendas o volumen por área por sí solos no significan necesariamente una disminución o aumento en las temperaturas superficiales.
Arbolado urbano	Describió una relación inversa con la temperatura superficial y una relación positiva con el NDVI. Gran parte de los índices altos se asocian a los árboles ubicados en aceras e interior de predios.	Árboles de poca obstrucción en esquinas donde la apertura de cielo es mayor, favorecen la presencia de microclimas de sombra. Los árboles en aceras adquieren importancia cuando en algunos diseños residenciales los predios no presentan jardines interiores.

Fuente: Elaboración propia, 2022



## CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

### 5.1- Características urbanas en escenarios residenciales y temperatura superficial

En primera instancia, se debe advertir que se trabajó en torno a un análisis comparativo de escenarios residenciales, en este sentido, cabe mencionar que respecto a los parámetros climáticos solo se consideró la temperatura superficial, lo cual no corresponde a la expresión final de los microclimas presentes, ya que estos son el resultado de la interacción de una multiplicidad de condicionantes derivadas del comportamiento de varios parámetros climáticos que no se analizaron. Por otro lado, respecto a las determinantes espaciales, el análisis en detalle se restringió a dos escalas menores, la escala de predios y la escala de manzanas, esto quiere decir que existen efectos climáticos en escalas de mayor jerarquía respecto a los cuales no se profundizó. De esta forma, luego del análisis de temperaturas superficiales en escenarios residenciales, fue posible distinguir diferentes componentes responsables del comportamiento termal, dentro de los cuales se encuentra, la geometría de los cañones urbanos, la configuración espacial de los predios y manzanas y finalmente las propiedades térmicas de la superficie propiamente tal.

Dicho esto, respecto de la evaluación de la temperatura superficial y su relación con las características urbanas, se confirmó la utilidad de las imágenes aéreas en color verdadero y su complementariedad con las imágenes termales. La metodología utilizada para extraer valores representativos de la superficie permitió individualizar el comportamiento térmico en elementos particulares ya sea a partir de valores puntuales o a partir de polígonos. Este último método, ofreció mayor confiabilidad al momento de obtener valores medios, máximos y mínimos ya que extrae la temperatura por áreas. De esta forma se obtuvo el promedio de temperaturas superficiales en el río, en la cancha municipal y en la autopista, ofreciendo un contexto general del área de estudio y de manera similar se procedió con los escenarios residenciales.

Luego del análisis de descriptores, se pudo constatar que existen escenarios propensos a altas temperaturas y otros a bajas temperaturas dentro del mismo tejido residencial, uno de los factores que determina este comportamiento es la variación de la morfología urbana en un espacio acotado. En cierta medida, esto explicaría el patrón espacial de temperatura superficial diurna, donde se aprecian condiciones de ganancia de calor y otras de enfriamiento. Esta variación se sostendría en la lógica confirmada por Oke et al. (2017) y otros autores respecto a la mayor variabilidad de microclimas mientras más cercanía con la superficie. Por otra parte, si esta lógica se extrapola a fenómenos de escala mayor, se confirma la dinámica descrita por Sarricolea & Romero (2010) donde la mayor intensidad diurna de la isla de calor de superficie frente a la isla de calor urbana atmosférica, se explica al no estar condicionada por la regulación térmica que propician los flujos de aire. Este motivo, junto al hecho de estar fuertemente asociada a las coberturas de suelo, respaldaría los cambios horizontales y los altos valores termales descritos en torno a los casos estudiados.

Respecto a los escenarios residenciales, fue posible encontrar diseños con diferentes situaciones desfavorables, a nivel de predios, manzanas o en ambos niveles simultáneamente, a nivel de predios las altas temperaturas de los techos pueden convivir con condiciones a nivel de manzana (conjunto) igualmente desfavorables respecto a la trama urbana, como el escenario E, el cual presentó altas

temperaturas a escala predial y además se encuentra inserto en una trama de pasajes interiores sin salida. Por otro lado, se encontraron diseños cuya temperatura superficial se debe mayormente a la composición de los techos, mientras que en otros está determinada por la configuración espacial y cobertura exterior a los predios.

También se constató la existencia de situaciones morfológicas características en la intersección de calles, espacios abiertos y avenidas, las cuales presentaron un mayor factor de visión de cielo y un menor factor de Altura y Ancho, propiciando mayores superficies expuestas a la radiación durante el día.

## **5.2- Escala urbana y condiciones microclimáticas**

En términos generales, la escala microclimática permite caracterizar el comportamiento de la temperatura superficial sobre elementos individuales y explicar fenómenos fuera del alcance de la mesoescala y la escala local. En la microescala se reflejaron los efectos particulares debidos a la propiedad térmica de diferentes coberturas, describiendo un patrón heterogéneo de escenarios urbano residenciales tanto a nivel predial como agrupado. En la mayoría de los casos las condiciones termales de los techos y cobertizos se distinguen de los jardines y patios traseros interiores, lo que también ocurre con la presencia de árboles y cuerpos de agua. Se constató que el nivel comprendido entre predios y manzanas, además de articularse por la vialidad, constituye un interesante medio de interfaz, el nivel de predios está relacionado con las posibles intervenciones por parte de los residentes, mientras que el nivel de manzana está representado por el espacio público exterior, ambas escalas mostraron efectos microclimáticos. Del parámetro estudiado, correspondiente a la temperatura superficial, fue posible reconocer contrastes internos dentro de una misma zona climática local y entre zonas distintas. Como se pudo observar, la imagen satelital describe un comportamiento homogéneo a nivel de barrios y manzanas, mientras que la temperatura a microescala mostraba una distribución más bien heterogénea, revelando las ventajas de la utilización de vehículos aéreos no tripulados.

En consecuencia, de la serie de casos medidos, se desprende que, para los valores medios de temperatura, a escala de predios y a escala de manzana (conjunto) existió un comportamiento similar, sin embargo, al rescatar los valores mínimos y máximos, la escala de manzana o conjunto evidenció mejor los extremos de temperatura, lo cual queda representado por un rango mayor de valores termales. Esto deriva de la complejidad del entorno exterior, al estar constituido por la calle y el arbolado en aceras, puede entregar valores dispares, tendiendo hacia temperaturas muy bajas para las manzanas con árboles frondosos, o bien temperaturas muy altas en manzanas con mayor superficie impermeable, expuesta a la radiación o desprovistas de vegetación. En síntesis, la medición de condiciones más frías o más cálidas, dependerá en primera instancia de la escala o nivel de detalle a partir de la cual se rescaten los valores termales y en segunda instancia de las superficies particulares que se estén analizando. En este sentido, la escala de manzana o conjunto presenta un mayor espectro de superficies.

Dicho esto, la mayoría de los parámetros ambientales y urbanos estudiados condicionan en mayor o menor medida los valores mínimos, medios y máximos de temperatura superficial. Sin embargo, no

en todos los casos es posible distinguir patrones regulares en la configuración espacial de la temperatura a microescala, una de las razones se debe al alto grado de modificación que han experimentado las viviendas, lo que trae consigo la existencia de diferentes microclimas a escala de manzana con una composición heterogénea de predios. En esta misma línea, para abordar propuestas de planificación y diseño urbano con una perspectiva geográfica adquieren valor los enfoques puestos en el contexto local. Desde otra mirada también son apropiadas aquellas propuestas o estrategias combinadas donde los lineamientos de diseño consideran los efectos agregados de las variables. Respecto a las implicancias que pueda tener el microclima sobre los residentes, es importante clarificar que un parámetro como la temperatura superficial no logra explicar por sí solo el clima urbano al que están expuestas las personas, toda vez que estas respondan al clima integrado por todos los parámetros ambientales asociados.

## BIBLIOGRAFÍA

Alexander, C. (1965). *La ciudad no es un árbol. Ciudades para un futuro más sostenible*. Architectural Forum, 122(1), 58-62 (Part I); 122(2),58-62 (Part II). Recuperado de: <<http://habitat.aq.upm.es/boletin/n40/acale.es.html>>

Arnfield, A. J. (2003). *Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island*. International Journal of Climatology: a Journal of the Royal Meteorological Society, 23(1), 1-26. Recuperado de: <<https://doi.org/10.1002/joc.859>>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, BCN (2021). *Renca, Reporte Comunal*.

Bonan, G.B (2002). *Ecological climatology: Concepts and applications*. Cambridge University Press. England.

Cárdenas Jirón, L (2012). *Caracterización de patrones bioclimáticos en tejidos urbanos residenciales Cuadernos de investigación urbanística*, ISSN 1886-6654, N°. 82, 2012, págs. 6-70. Recuperado de: <<http://polired.upm.es/index.php/ciur/article/view/1840/1841>>

Carrasco, C., Palme, M., & Galvez, M. A. (2016). *Factor de cielo visible y el efecto de isla de calor en Valparaíso*. Urbano, 19(34), 26–33. Recuperado de: <<http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RU/article/view/2614>>

CASEN (2015). *Encuesta de Caracterización Socioeconómica de la Población, Ministerio de Desarrollo Social y Familia, Chile*. Recuperado de: <<http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen-multidimensional/casen/basedatos.php>>

Castillo, Ana Laura., Sosa, María Belén., Correa, Érica Norma & Cantón, María Alicia. (2018). *Comportamiento y confort térmico exterior de canales viales urbanos insertos en diversas tramas y geomorfologías de Mendoza*. Revista hábitat sustentable, 8(2), 116-129. Epub 31 de diciembre de 2018. Recuperado de: <<https://dx.doi.org/10.22320/07190700.2018.08.02.09>>

Castillo, Ana, Correa, Érica, & Cantón, María. (2019). *Geomorfología y forma urbana. Comportamiento térmico de distintas tramas en áreas de piedemonte: el caso de Mendoza, Argentina*. EURE (Santiago), 45(136), 183-207. Recuperado de: <<https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612019000300183>>

Centro de Políticas Públicas UC (2017). *Mesa de áreas verdes. Resumen Ejecutivo*. Recuperado de: <<https://politicaspublicas.uc.cl/wp-content/uploads/2017/05/RESUMEN-EJECUTIVO-AREAS-VERDES.pdf>>

Giraldo-Ospina, Tania, & Vásquez-Varela, Luis-Ricardo. (2020). *Caracterización de las tramas urbanas de la ciudad de Manizales, Colombia (1849-2017)*. Revista de Arquitectura (Bogotá), 22(1), 30-43. Recuperado de: <<https://doi.org/10.14718/revarq.2020.2669>>

Guzmán Echavarría, G. (2018). *Análisis de la influencia del diseño urbano en la meteorología del Valle de Aburrá*. Recuperado de: <<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69423>>

Higueras García, E. (1998). *Urbanismo bioclimático*. Cuadernos de Investigación Urbanística, 0(24). Recuperado de: <<http://polired.upm.es/index.php/ciur/article/view/238>>

Instituto Nacional de Estadísticas, INE (2018). *Catastro de áreas verdes*. Recuperado de: <[http://siedu.ine.cl/cantidad\\_BPU\\_29.html](http://siedu.ine.cl/cantidad_BPU_29.html)>

Instituto Nacional de Estadísticas, INE. (2017). *Resultados Censo de Población y Vivienda año 2017*. Recuperado de: <[www.censo2017.cl](http://www.censo2017.cl)>

IPCC (2014). Cambio climático 2014: *Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs. Recuperado de: <[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)>

Kropf, K. (2017). *The Handbook of Urban Morphology*. Italia: Wiley. Recuperado de : <[https://www.researchgate.net/publication/320258952\\_The\\_Handbook\\_of\\_Urban\\_Morphology](https://www.researchgate.net/publication/320258952_The_Handbook_of_Urban_Morphology)>

Mills, Gerald., Cleugh, Helen., Emmanuel, R., Endlicher, Wilfried., Errell, Evyatar., Mcgranahan, Gordon., Ng, Edward., Nickson, A., Rosenthal, J. & Steemers, Koen. (2010). *Climate Information for Improved Planning and Management of Mega Cities (Needs Perspective)*. Procedia Environmental Sciences. 1. 228-246. Recuperado de: <<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.09.015>>

Milner, J., Harpham, C., Taylor, J., Davies, M., Le Quéré, C., Haines, A., & Wilkinson, P. (2017). *The challenge of urban heat exposure under climate change: An analysis of cities in the Sustainable Healthy Urban Environments (SHUE) database*. Climate, 5(4), 93. Recuperado de: <<https://doi.org/10.3390/cli5040093>>

Moreno, M (2010). *Climatología urbana*. Universidad de barcelona. Recuperado de: <[https://www.researchgate.net/publication/326040867\\_Climatologia\\_Urbana](https://www.researchgate.net/publication/326040867_Climatologia_Urbana)>

Munizaga, G. (1992). *Diseño urbano. Teoría y método*. Santiago, Chile: Universidad Católica de Chile. Recuperado de: <<https://ediciones.uc.cl/dise-o-urbano-teoria-y-metodo.html>>

Oke, T., Mills, G., Christen, A. y Voogt, J. (2017). *Urban Climates*. Cambridge: Prensa de la Universidad de Cambridge. Recuperado de: <<https://doi.org/10.1017/9781139016476>>

Oke, T.R (1981). *Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations*. Journal of Climatology, 1, 237–254.

Oke, T.R (1987). *Boundary Layer Climates*, 2nd edn., Routledge, London, 435 pp.

Oke, T.R (1995). *The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects*. In: Wind Climate in Cities. Cermak, J.E., Davenport, A.G., Plate, E.J. and Viegas, D.X., (eds.), Kluwer Academic, 81–102.

Oke, T.R. (1982). *The Energetic Basis of the Urban Heat Island*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 108, 1-24.

Peña Araya, M & Romero Aravena, H (2006). *Relación espacial y estadística entre las islas de calor de superficie, coberturas vegetales, reflectividad y contenido de humedad del suelo, en la ciudad de Santiago y su entorno rural*. Recuperado de: <<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/118067>>

Plan Regulador Comunal (2022). *Actualización del Plan Regulador Comunal. Resumen Ejecutivo 2022*. Recuperado de: <<https://renca.cl/wp-content/uploads/2022/02/220222-Resumen-ejecutivo-PRCR.pdf>>

Rizwan, A., Dennis, L. & Liu, C. (2008). *A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island*. Journal of Environmental Sciences, 20(1): 120-128. Recuperado de: <[https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4)>

Romero Aravena, H; Molina, M. (2007). *Relación espacial entre tipos de usos y coberturas de suelos e islas de calor en Santiago de Chile*. Anales Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas 2007; Vol.1; NÂ° 1; 2008; pp. 223-230. Recuperado de: <<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/117775>>

Romero H. & Sarricolea P. (2006). *Patrones y factores de crecimiento espacial de la ciudad de Santiago de Chile y sus efectos en la generación de islas de calor urbanas de superficie*. Clima, Sociedad y Medio Ambiente: V Congreso de la Asociación Española de Climatología, Sept. 18 – 21, 2006, Zaragoza, España. Recuperado de: <[http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0074\\_PU-SA-V-2006-H\\_ROMERO.pdf](http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0074_PU-SA-V-2006-H_ROMERO.pdf)>

Sarricolea, P & Romero, H (2010). *Análisis de los factores condicionantes sobre las temperaturas de emisión superficial en el Área Metropolitana de Valparaíso, Chile*. Recuperado de: <<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/117841>>

Sarricolea, P. (2012). *La isla de calor urbana de superficie y sus factores condicionantes. El caso del área metropolitana de Santiago de Chile*. Tesis doctoral. Departamento de geografía física y análisis geográfico regional. Universidad de Barcelona. Recuperado de: < <http://hdl.handle.net/2445/41987>>

Sarricolea, P., Smith, P., Romero Aravena, H, Serrano Notivoli, R., Fuentealba, M., Meseguer Ruiz, O. (2022). *Socioeconomic inequalities and the surface heat island distribution in Santiago, Chile*. Science of The Total Environment, Volume 832,2022,155152,ISSN 0048-9697. Recuperado de: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155152>>

Shashua-Bar, Limor & Hoffman, Milo (2003). *Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees*. Energy and Buildings, 2003, n° 35, pp. 61-68. Recuperado de: <[https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00080-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00080-4)>

Shishegar N. (2013). *Street Design and Urban Microclimate: Analyzing the Effects of Street Geometry and Orientation on Airflow and Solar Access in Urban Canyons*. Journal of Clean Energy Technologies, 1(1), 52-56. Recuperado de: <[10.7763/JOCET.2013.V1.13](https://doi.org/10.7763/JOCET.2013.V1.13)>

Smith, P., Sarricolea, P., Peralta, O., Aguila, JP. & Thomas, F. (2021). *Study of the urban microclimate using thermal UAV. The case of the mid-sized cities of Arica (arid) and Curicó (Mediterranean), Chile*. Building and Environment. Volume 206, December 2021, 108372. Recuperado de: <<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108372>>

Smith, P, C. Lamarca, C. Henríquez (2019). *A comparative study of thermal comfort in public spaces in the cities of Concepción and Chillán, Chile*, in: C. Henríquez, H. Romero (Eds.), Urban Climate in Latin-American Cities, Springer Nature, Dordrecht, The Netherlands, 2019, 2018; (Chapter 6). Recuperado de: <[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-97013-4\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-97013-4_6)>

Sosa Castro, M. B., Correa Cantaloube, E. N., & Cantón, M. A. (2016). *Morfología urbana y comportamiento térmico de canales viales. Desarrollo de un modelo predictivo para temperaturas máximas*. Urbano, 19(33), 66–75. Recuperado de: <<http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RU/article/view/2358>>

Sosa, M. B., Correa, E., & Cantón, M. A. (2020). *Eficacia de estrategias de disminución del calentamiento urbano. Estudio para una ciudad de clima árido*. Informes De La Construcción, 72(559), e352. Recuperado de: <<https://doi.org/10.3989/ic.66662>>

Stewart, I. & Oke, T. (2012). *Local climate zones for urban temperature studies*. Bulletin of the American Meteorological Society, 93:1879-1900. Recuperado de: <[10.1175/BAMS-D-11-00019.1](https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1)>

UN-Habitat (2011). *Cities and Climate Change: global report on human settlements*. Londres, Washington, DC. United Nations Human Settlements Programme. Recuperado de: <<https://unhabitat.org/global-report-on-human-settlements-2011-cities-and-climate-change>>

Universidad de Chile (2006). *Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI*. Chile. CONAMA. Recuperado de: <[http://dgf.uchile.cl/PRECIS/articles-39442\\_pdf\\_Informe\\_figuras.pdf](http://dgf.uchile.cl/PRECIS/articles-39442_pdf_Informe_figuras.pdf)>

Voogt, J. & Oke, T. (2003). *Thermal Remote Sensing of Urban Climates*. Volume 86, Issue 3, 15 August 2003, Pages 370-384. Recuperado de: <[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)>

Voogt, JA Grimmond, CSB (2000). *Modeling Surface Sensible Heat Flux Using Surface Radiative Temperatures in a Simple Urban Area* October 2000. Journal of Applied Meteorology. Recuperado de: <<https://ur.booksc.eu/book/56758662/53f37f>>

Zölch, T., Maderspachera, J., Wamslerb, C. & Pauleitc, S. (2016). *Using Green infrastructure for urban climate-proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale*. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20, 305-316. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.09.011>