



Universidad de Chile
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Postgrado
Magister en Geografía

Análisis del comportamiento de la temperatura superficial y su relación con las características del diseño urbano como base para proponer lineamientos de planificación sensible al clima: El caso de la ciudad de Arica, Chile

Tesis para optar al título de Geógrafo y al Grado de Magíster en Geografía

Felipe Eduardo Thomas Cabrera.

Profesora guía: Dra. Pamela Smith G.

SANTIAGO – CHILE

2022

Agradecimientos

En primer lugar, al Centro del Clima y Resiliencia (CR)² (ANID/FONDAP 1511009, CR2) y al equipo ANID/Fondecyt Iniciación 11180990 cuya investigadora a cargo es la Dra. Pamela Smith G. quien además guió esta investigación con una enorme sabiduría, gran compromiso y pasión por el estudio de los climas urbanos, estoy muy feliz de haber sido parte de su equipo estos últimos años y abrir mi camino en esta profesión.

Mis agradecimientos también están con Pablo Sarricolea, quien animó constantemente el desarrollo de esta investigación ayudando en las innovaciones metodológicas para el estudio de los climas urbanos. Y a Orlando en quien encontré un compañero de trabajo que no dudó en poner su sabiduría, inteligencia y compañerismo al servicio de esta investigación, mi gratitud a él por acompañar siempre este proceso.

Agradezco a mis padres Graciela y Carlos, quienes siempre motivaron y estimularon mi crecimiento personal y académico, dándole siempre prioridad a mi bienestar emocional y material, a pesar de las dificultades. A mi hermano Carlos y su esposa María Jesús quienes durante mucho tiempo aconsejaron y ayudaron a enfrentar los desafíos que la vida -sobre todo académica- ponía por delante y que seguro seguirán haciéndolo. Me pasaré la vida entera retribuyendo lo que ustedes cuatro han hecho por mí.

A mis amigos que conocí estudiando geografía, en especial a Juan pablo, Camila, Belén y Diego cuya amistad atesoraré por siempre, gracias por estar en los momentos donde todo estaba cuesta arriba, por su complicidad y carisma en todo momento.

Quiero finalizar agradeciendo a Tamara, por todos los abrazos, momentos de contención y compañía, por destrabar cada comentario y situación negativa, por celebrar nuestros triunfos y bancar nuestras derrotas, disfrutar mi etapa universitaria con ella al lado fue lo más especial que me pudo haber pasado. Mi gratitud y amor a ella es infinito.

Resumen

La presente investigación tiene por objetivo analizar el comportamiento de la temperatura en una escala local y microescala, con el propósito de vincularlo con las condiciones socioeconómicas y características del diseño urbano de la ciudad de Arica. Por ello, se espera que los barrios de menores ingresos presenten condiciones de diseño urbano más desfavorables, lo que corresponde a una manifestación de injusticia climática

Este estudio está inserto en el contexto de cambio climático y aumento constante de los tejidos urbanos y de las temperaturas a nivel global, ante ello se propuso un análisis multiescalar de la temperatura superficial y cómo ésta se relaciona con las características del diseño urbano, dicha vinculación se realizó mediante mediciones en terreno, monitoreo de imágenes satelitales, vuelos de dron, la construcción de un indicador y revisión bibliográfica durante el verano de 2022.

El uso de imágenes satelitales para el monitoreo de la temperatura superficial es de gran utilidad cuando se quiere analizar el comportamiento climático de una ciudad, sin embargo, la utilización de drones para estudiar la temperatura superficial aumenta el nivel de detalle y permite una observación que da cuenta de la conducta que tienen los distintos materiales.

Finalmente, habiendo recopilado toda la información se hacen una serie de propuestas de planificación sensible al clima para una ciudad árida, pudiendo estudiar aspectos más allá de la vegetación como aspecto enfriador, analizando intervenciones recientes en el espacio público y así dar protagonismo a aspectos como la orientación de calles y horas de sol.

Palabras claves: Climas Urbanos, Análisis multiescalar, Planificación urbana, Planificación urbana sensible al clima, Ciudades áridas.

Índice

Capítulo 1: Presentación	6
1.1 Introducción.....	6
1.2 Planteamiento del problema.....	7
1.1 Objetivo General	11
1.1.1 Objetivos Específicos	11
1.2 Hipótesis de investigación.....	11
1.3 Área de Estudio.....	12
Capítulo 2: Reflexión teórica	19
2.1 Clima Urbano	21
2.1.2 Microclima.....	23
2.1.3 Isla de calor urbana (ICU).....	24
2.1.4 Justicia climática	27
2.2 Un primer acercamiento a la planificación sensible al clima	29
2.2.1 Planificación urbana en contexto de cambio climático	30
2.2.2 Planificación sensible al clima en una ciudad árida.....	33
Capítulo 3: Materiales y métodos	37
3.1 Esquema metodológico	38
3.2 Análisis del comportamiento de la temperatura superficial y su vinculación con las condiciones socioeconómicas.....	38
3.2.1 Monitoreo de imágenes satelitales para el análisis mesoescalar de la temperatura superficial.....	39
3.1.2 Construcción de indicador territorial para el análisis de la temperatura superficial.....	42
3.3 Evaluar la relación entre la temperatura superficial y las características del diseño urbano a microescala.....	43
3.2.1 Calculo de la temperatura superficial a microescala. Uso de dron.	43
3.3.2 Características del diseño urbano	54
3.3 Metodología objetivo N°3.....	57
Capítulo 4: Resultados	58
4.2.1 Comportamiento de la temperatura a microescala	75
4.2.1.2 Vuelo Universidad de Tarapacá (UTA)	79
4.2.2 Variables morfológicas a microescala	83
4.3 Propuesta de lineamientos de planificación sensible al clima para una ciudad árida-costera.	86

Capítulo 5: Discusiones	99
5.1 La mesoescala y su relevancia en el estudio de los climas urbanos	99
5.1.1 Análisis de temperatura a mesoescala	99
5.1.2 Análisis de variables a mesoescala	100
5.1.3 Indicador de vulnerabilidad territorial	100
5.2 Evaluación de la relación entre la temperatura superficial y el diseño urbano en la microescala	101
5.2.1 Análisis de temperatura a microescala	101
5.2.1.2 Vuelo UTA	102
5.2.2 La microescala y su relevancia en el estudio de los climas urbanos	103
5.3 Planificación y diseño sensible al clima en Arica	104
5.3.1 Parámetros morfológicos y su influencia en el comportamiento de la temperatura superficial	104
5.3.2 Análisis de potenciales lineamientos de planificación sensible al clima .	107
5.3.3 Análisis de la relación entre temperatura superficial de mesoescala con indicador de vulnerabilidad territorial	110
5.4 Análisis multiescalar	110
Capítulo 6: Conclusiones	114
Capítulo 7: Bibliografía y anexos	117

Capítulo 1: Presentación

1.1 Introducción

El acelerado proceso de urbanización en el mundo ha generado que actualmente más del 50% de la población viva en ciudades (PNUD, 2014) y se estima que para la década de 2030 ésta llegará a un 60% (UN, 2018). Este crecimiento de la población urbana tiene una serie de consecuencias, como lo son la pérdida de áreas verdes, impermeabilización de los suelos, mayor captación y almacenamiento de calor.

Como se mencionó anteriormente, la expansión del tejido urbano genera, entre otras cosas, cambio en los balances energéticos y las propiedades térmicas (Sarricolea, 2012), lo que deriva a su vez, en un deterioro en el confort térmico ambiental, afectando el bienestar de la población. Otro de los efectos asociado al proceso de urbanización es la modificación del comportamiento del clima, caracterizado principalmente por la presencia de la Isla de Calor Urbana (ICU) (Oke et al, 2017) la cual se entiende como el aumento de la temperatura que se experimente en la ciudad, a diferencia de sus alrededores no urbanos.

Por otro lado, el clima urbano y los usos de suelo al interior de las ciudades se relacionan con los procesos de segregación socioespacial de la población, donde es posible observar diferencias entre los sectores residenciales que habitan los distintos grupos socioeconómicos (Romero et al. 2010a). El autor señala que las zonas más cálidas son aquellas donde se concentran viviendas de alta densidad y bajo gobiernos locales de menores ingresos, mientras que en aquellas zonas donde existe una gran superficie de vegetación y baja densidad de construcción las temperaturas son menores.

Ante esto, cabe señalar la necesidad de implementar medidas de mitigación a través del fortalecimiento de la justicia territorial en términos políticos y también trabajar en una planificación territorial que se sitúe en un contexto de cambio climático y sepa abordar los desafíos que se presentan en la actualidad.

1.2 Planteamiento del problema

Uno de los efectos más importantes que tiene la urbanización es el reemplazo de los usos y coberturas de suelo naturales por zonas urbanas, respondiendo a la demanda de suelos para proyectos habitacionales, actividades comerciales y servicios (INE, 2019), la prolongación del área urbana está relacionada directamente con el aumento de la población, lo cual conlleva en un aumento de las viviendas y los barrios residenciales. Romero et al. (2010b) señalan que las medidas más importantes de mitigación del estrés térmico son las asignaciones de distintos usos de los suelos; la generación, protección y restauración de áreas verdes, los diseños de las calles, construcciones de autopistas, entre otras. Por otro lado, Sarricolea (2012) plantea que una de las consecuencias más importantes de la urbanización y, por ende, de la impermeabilización de los suelos es la pérdida de servicios ambientales, los cuales son provistos por las coberturas naturales, tales como la purificación del aire, de las aguas y de los mismos suelos en su composición litológica.

El aumento de las temperaturas tiene directa relevancia en la salud de las personas, llegando a generar importantes alteraciones, puesto que las altas temperaturas en periodos prolongados de tiempo pueden provocar distintas patologías en la población como, por ejemplo: desconcentración, agotamiento, irritabilidad, deshidratación, descompensaciones y/o desmayos, y en casos extremos, la muerte (Environmental Protection Agency, 2008), un ejemplo de esto es el estudio del confort térmico, el cual se refiere al nivel de satisfacción del ser humano con su entorno (Smith, 2016).

Con respecto a la planificación territorial, es necesario comprender la dimensión climática para poder aplicarla a la toma de decisiones del aparato público, Con respecto a esto, Bustamante et al. (2009a), señalan que las viviendas deben tener asegurado un comportamiento energético que permita el confort térmico de los usuarios, ya sea para la estación de verano o de invierno, además señala que es importante garantizar que los materiales de la vivienda sean propicios para no depender de calefacción en su interior, lo cual genera un gasto energético extra.

De esta forma, la planificación sensible al clima no solo responde a la materialidad de las viviendas, sino que, debe prestar atención a la influencia reguladora de la vegetación, de los vientos dominantes y de los cuerpos de agua, tanto de sus fuentes o de sus quebradas para obtener un mejor comportamiento térmico del medio ambiente, y en particular del clima, de los espacios públicos y también de las viviendas. En este sentido, cabe señalar, por ejemplo, que, si una vivienda necesita de aire acondicionado en Chile, resulta ser que la arquitectura presenta problemas en su diseño (Bustamante et al. 2009b).

Si se considera a la vegetación como una de las variables más importantes a la hora de tomar decisiones relacionadas con planificación territorial (Smith & Romero, 2016), ésta no siempre resulta ser una buena forma de mitigar las consecuencias del aumento de la temperatura, puesto que, puede significar un requerimiento hídrico no siempre disponible, y por lo tanto, deben ser considerados otros factores que se relacionan con el comportamiento de la temperatura, tales como ancho de calles, altura de edificaciones, entre otros.

Es por ello, que Perico-Agudelo (2009), propone que el control microclimático dependerá de la visión global y sistémica del espacio público, a pesar de la influencia de las áreas verdes. Por otro lado, Cuadrat & Vicente (2005) plantean que, incluso, un mayor índice de vegetación en determinadas condiciones no siempre supone un descenso de la temperatura, puesto que hay factores más determinantes, como lo son la topografía y las coberturas impermeables.

Asimismo, Smith y Andrade (2013) señalan que existe una relación entre la vegetación y las coberturas que impiden la infiltración, señalando que la vegetación reduce la temperatura considerablemente, pero que, por otro lado, las coberturas de suelo impermeables o urbanizadas que retienen el agua la incrementan, de esta forma es relevante entender que, dependiendo del caso, algunas veces resulta más efectivo atacar la impermeabilización del suelo, más allá de densificar la vegetación o aumentar las superficies de áreas verdes.

En un contexto de cambio climático se generan disminuciones en las cantidades de lluvia, ya sea en la cantidad, duración e intervalos entre periodos de precipitación,

lo que sumado al aumento de las temperaturas globales provocan un descenso en las coberturas vegetacionales. Esto provoca un estrés hídrico que no permite disponer del recurso, ya que las condiciones de riego natural disminuyen, dada la baja en la precipitación. Por otro lado, la escasez también repercute económicamente, puesto que, la alta demanda de agua provoca un aumento monetario en el acceso al recurso (Lavee, 1998).

Así, sabiendo que una de las principales medidas que se toman para contrarrestar el aumento de las temperaturas es la implementación de áreas verdes, es necesario mencionar que resulta poco eficiente en algunos contextos, ya que las condiciones atmosféricas actuales y proyectadas para ciudades áridas no permiten la mantención de coberturas vegetacionales sin necesitar grandes cantidades de agua al año, lo que deriva en un gasto económico mayor para el aparato público.

Por ello, la presente investigación tiene por objetivo enfocarse en las estrategias de planificación sensible al clima que pueden ser implementadas en una ciudad árida, entre las que destacan las características del diseño urbano y el comportamiento de la materialidad de las superficies con respecto a la temperatura.

En materia de investigaciones relacionadas con el comportamiento de la temperatura, diversos estudios de climas urbanos requieren el uso de bases de datos y de imágenes satelitales, sin embargo, muchas veces estas herramientas no suelen satisfacer las necesidades metodológicas de los investigadores, ya que en algunos casos los satélites no tienen una resolución espacial o temporal que permita realizar un estudio acabado del comportamiento atmosférico o de algunos índices como lo son, por ejemplo, el ndvi.

Es por ello que ha habido algunas innovaciones con respecto a la obtención de información, no solo a través de softwares, sino que también para la recopilación de datos en terreno. El uso de transectos móviles también ha sido una herramienta metodológica importante, sin embargo, la utilización de drones para el monitoreo de la temperatura superficial ha significado un avance fundamental no solo para la temperatura, sino también para obtener índices de vegetación. Puesto que al obtener mejores resoluciones espaciales se logra un nivel de detalle que antes no

era accesible, lo que deriva en una mejora trascendental para el estudio de los climas urbanos.

Por otro lado, esta investigación se propuso vincular el diseño urbano de la ciudad y la materialidad de los distintos barrios con el comportamiento microclimático y la temperatura superficial. Lo anterior implicó un desafío metodológico, para abordar el estudio del clima urbano a distintas escalas y permitió integrar los resultados para proponer lineamientos de planificación sensible al clima, por lo que el uso de drones significó una mejora en términos metodológicos para la presente investigación.

Para el año 2017, el 87,8% de la población chilena reside en ciudades (INE, 2017), siendo uno de los países más urbanizados de Latinoamérica. Esta tendencia sigue en aumento, y se observa no solo en las grandes ciudades, como la capital Santiago, sino también, en ciudades medias del país, como lo es la ciudad de Arica, la cual corresponde a una ciudad árida, ubicada en la Región de Arica y Parinacota, siendo su capital. Arica ha experimentado un crecimiento de su población de un 19,2% entre 2002 y 2022, llegando a los 226.068 habitantes. Mientras que su población rural es de un 8,3% siendo un 91,7%, de la población residente de zonas urbanas, superando el promedio nacional (INE,2017).

Ante esto, se plantea la siguiente interrogante: ¿Cuál es la relación que existe entre las características del diseño urbano de los barrios con respecto a su comportamiento microclimático y su temperatura superficial y cómo éste es determinado por el nivel socioeconómico de un sector de la ciudad?

1.1 Objetivo General

Analizar el comportamiento de la temperatura superficial en base a las características del diseño urbano derivadas del nivel socioeconómico en la ciudad de Arica como base para la propuesta de lineamientos de planificación sensible al clima en una ciudad árida-costera.

1.1.1 Objetivos Específicos

1. Analizar el comportamiento de la temperatura superficial a escala local y su relación con las condiciones socioeconómicas de la ciudad de Arica.
2. Evaluar la relación entre la temperatura superficial y las características del diseño urbano a microescala.
3. Proponer lineamientos de planificación sensible al clima para una ciudad árida.

1.2 Hipótesis de investigación

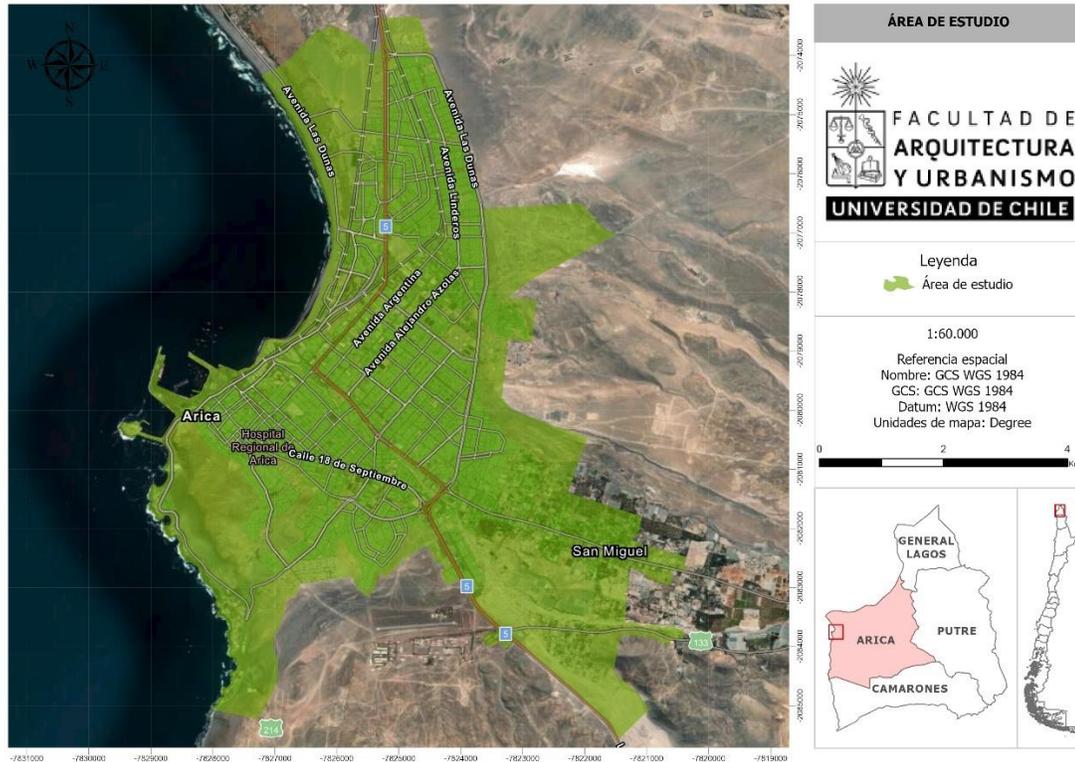
El comportamiento de la temperatura superficial a microescala se relaciona con las características del diseño urbano, siendo la materialidad y el color las más significativas para el caso de una ciudad árida.

A su vez, el diseño urbano y su relación con el comportamiento del clima se relacionan con las condiciones socioeconómicas, por lo tanto, se espera que los barrios de menores ingresos presenten condiciones de diseño urbano más desfavorables lo que corresponde a una manifestación de injusticia climática.

1.3 Área de Estudio

Para la presente investigación, se seleccionó como área de estudio a la ciudad de Arica (ver Figura N°1), ubicada a 18° 28'S de latitud sur, esta ciudad es la capital de la Región de Arica y Parinacota en el extremo norte de Chile. Arica es idónea para la presente investigación debido a que reúne las condiciones de ser una ciudad árida, lo que deriva en un espacio carente de vegetación teniendo 3,75 mt² de vegetación por habitante (Catastro de áreas verdes, INE, 2018), muy por debajo de lo esperado por el Consejo Nacional de Desarrollo Urbano (CNDU) que establece un mínimo de 10 mt² por habitante. Además, presenta altas tasas de radiación solar, llegando a 8,35 kWh/mt²/día, superando los 6,96 kWh/mt²/día a nivel nacional. El área de estudio presenta temperaturas medias mayores a 15° en meses de invierno y de 30° en meses de verano (Dirección meteorológica de Chile, 2020). Para el caso de la ciudad de Arica, la expansión del tejido urbano se manifiesta de manera adyacente al centro histórico y responde al aumento de la población en la ciudad, aumentando en un 47,7% en el último periodo intercensal (Censo 2017).

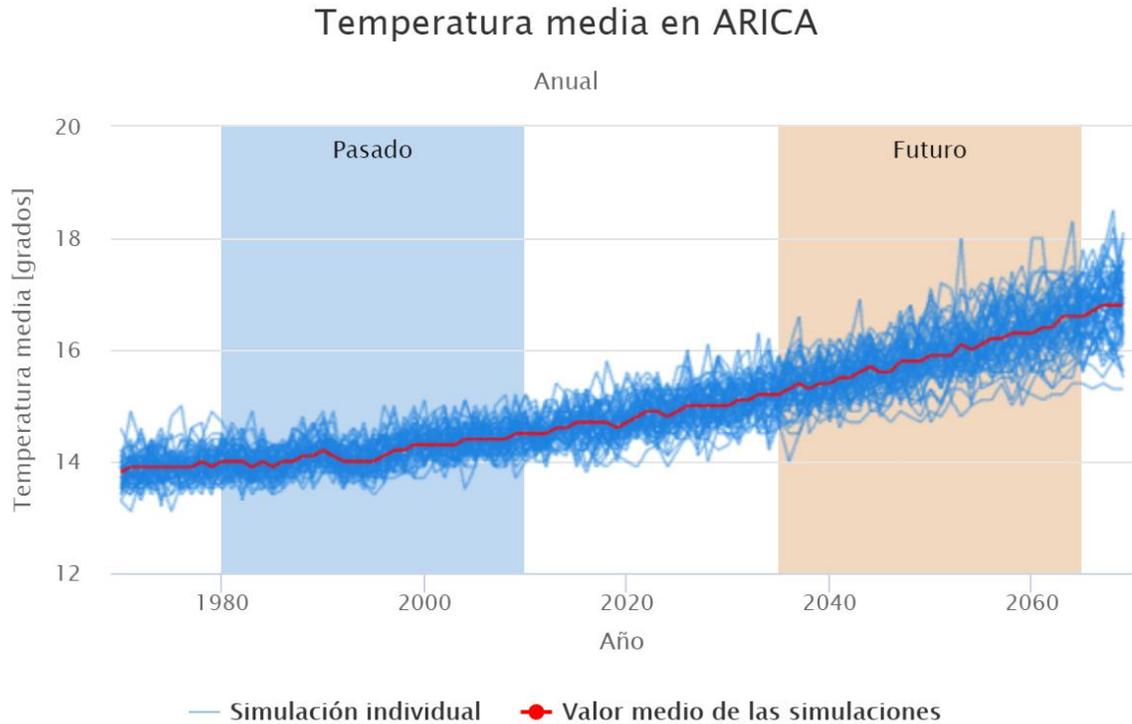
Figura N°1: Área de Estudio



Fuente: Elaboración propia, 2022

Además, en términos de proyecciones, la ciudad de Arica presenta un alto incremento en las temperaturas medias, alcanzando una diferencia de 1,7° Celsius entre el clima actual y futuro, entre los años 2040 y 2060 (Atlas para el riesgo climático. Arclim, 2021) lo cual es posible observar en la Figura N°2.

Figura N°2: Proyección de la temperatura media en Arica



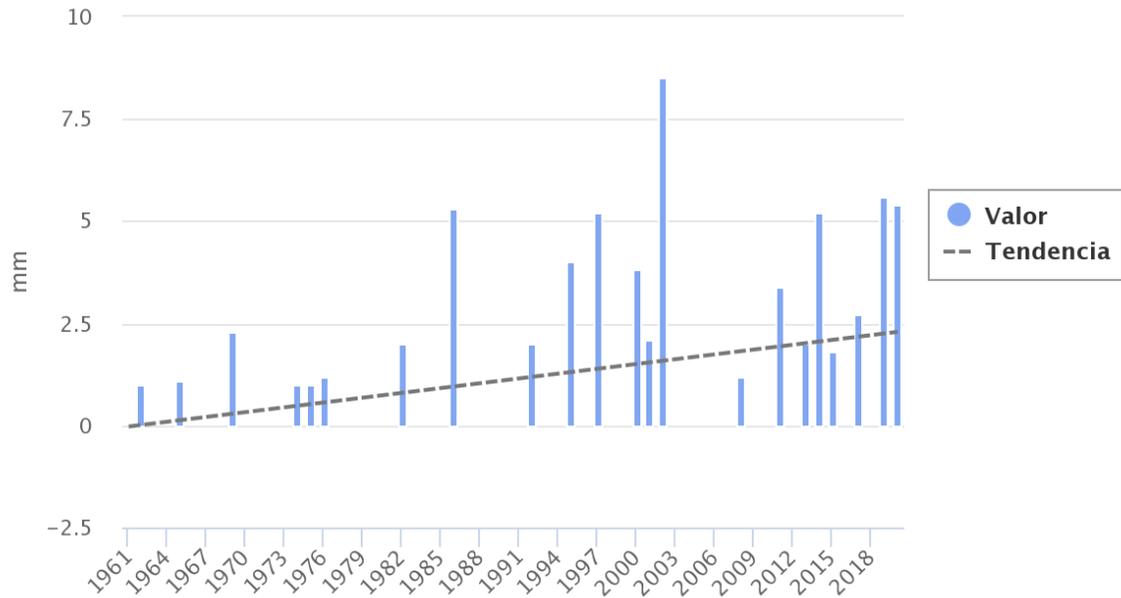
Fuente: Arclim, 2021

Como se mencionó anteriormente, el área de estudio no presenta condiciones propicias para la instalación de áreas verdes como medida de mitigación frente a la isla de calor u otros factores de riesgo puesto que corresponde a una ciudad árida, lo que es posible observar en la Figura N°3, la cual muestra que, a pesar de que las precipitaciones van en un aumento de 0,4mm por década, las mediciones no superan los 7,5mm de precipitación al año, por lo tanto, la ciudad de Arica debe modificar las medidas frente al estrés térmico ambiental, por unas que no favorezcan el aumento del estrés hídrico.

Figura N°3 Precipitación histórica en Arica

Índice precipitación anual (PRCPTOT) Chacalluta, Arica Ap.

Índice de precipitación anual que corresponde a la suma de la precipitación sobre 1 milímetro.



Fuente: Dirección meteorológica de Chile, 2021

Dicho lo anterior, en la Figura N°4 es posible observar los niveles de accesibilidad a áreas verdes por habitante, en color rojo se presentan las áreas verdes y en tonalidades de gris a verde los mts² por habitante. Cabe mencionar que, en el centro de la ciudad, cercano al puerto, existe una alta presencia de coberturas vegetacionales, sin embargo, el alto número de mts² por habitante radica en la poca presencia de viviendas en el sector, por lo tanto, este índice tiende a ser mayor.

Figura N°4: Indicador de accesibilidad a áreas verdes



Fuente: Inteligencia Territorial, Universidad Alberto Hurtado, 2019

Sin embargo, gran parte de las manzanas de Arica no presentan una cantidad de $\text{mts}^2/\text{hab.}$ que supere los $2,5 \text{ mts}^2$ por habitante, siendo alrededor de 6.000 personas. En ese sentido, cabe mencionar que un bajo porcentaje de la población supera los 4mts^2 por habitante, siendo una cifra que no supera los 7.000 habitantes.

No obstante, en la Figura N°5 se describe el índice diferencial de vegetación normalizado NDVI por manzana, el cual entrega un complemento a la información anterior, puesto que describe el promedio de NDVI de las manzanas de Arica, en ese aspecto, es posible observar existen varios sectores que con niveles de NDVI bastante alto, como lo es el caso de sector de Av. Arata y al norte de playa Las Machas, donde el NDVI supera el 0,1, otro sector con altos índices de vegetación es el valle de San Miguel de Azapa, cuya extensión es aún mayor, superando los 2km en su nivel más alto.

Figura N°5 Índice Diferencial de Vegetación Normalizado NDVI de Arica por manzanas



Fuente: Elaboración propia en base a LandSat, 2022

Por otro lado, el sector del centro histórico y los alrededores de la Universidad de Tarapacá presenta niveles medio-alto de vegetación, dada la presencia de los parques Brasil y Vicuña Mackenna para el caso del centro y el estadio Carlos

Dittborn a un costado de la UTA. En síntesis, ambas Figuras ayudan a entender cómo la vegetación se hace presente en el área de estudio, tanto en su accesibilidad como en su superficie.

Con respecto a la planificación territorial, Quintana et al. (2021a) plantean que en Arica existe una alta densidad de construcciones para vivienda, con una distribución vial angosta y con espacios pensados para las áreas verdes pero que en su mayoría, son espacios desprovistos de vegetación. Las nuevas extensiones territoriales para vivienda se encuentran distribuidas principalmente en el sector norte, a ambos costados de la carretera Panamericana; al suroeste contiguo al centro de la ciudad, en el sector costa; en las partes cercanas al Hospital Regional de Arica; al sur de la Av. 18 de Septiembre; y en el sector sureste dentro del valle de Azapa (Quintana et al, 2021b).

Capítulo 2: Reflexión teórica

Con el objetivo de analizar el comportamiento de la temperatura superficial en base a las características del diseño urbano en la ciudad de Arica, es necesario identificar los factores que determinan la conducta de la temperatura y comprender los conceptos asociados al clima urbano de una ciudad. Por otro lado, es relevante discutir acerca de los conceptos que permiten generar lineamientos base para la planificación sensible al clima, más aún en el caso de una ciudad árida. Finalmente es relevante entender cómo el nivel socioeconómico determina las condiciones materiales de los barrios, su diseño urbano y su planificación territorial y cómo estos factores estructuran distintos comportamientos de la temperatura superficial (Ver Tabla N°1).

Para comenzar a reflexionar sobre los conceptos que darán forma a la presente investigación es necesario agruparlos en dos grandes apartados, donde, en primer lugar, se hará una descripción de las definiciones y un debate teórico entre los distintos términos que se abordan en el marco del estudio del clima urbano.

En segundo lugar, se hará una revisión conceptual de las definiciones contenidas y asociadas a la planificación sensible al clima, su contexto histórico en Chile, la planificación en contexto de cambio climático y cómo la justicia climática se enmarca en esta dinámica de diseño urbano y su relación con el comportamiento del clima.

Así, el primer apartado de la reflexión teórica hace alusión a los conceptos que tienen relación directa con el clima urbano, desde una mesoescala a una microescala y que contribuyen a entender el comportamiento de la atmósfera, dado que el caso de esta investigación es en una ciudad árida y costera. Se abordan los conceptos de clima urbano, isla de calor y el comportamiento de la temperatura superficial, dando así, un primer escenario de debate teórico para el desarrollo de este trabajo.

Tabla N°1 Relación entre los conceptos del Marco Teórico y Pregunta de Investigación

Concepto	Relación	Pregunta de investigación
Clima urbano	Explica el comportamiento de la temperatura superficial	¿Cuál es la relación que existe entre las características del diseño urbano de los barrios con respecto a su comportamiento microclimático y su temperatura superficial y cómo éste es determinado por el nivel socioeconómico de un sector de la ciudad?
Microclima	Genera un análisis multiescalar del comportamiento del clima, y en particular de la temperatura	
Isla de Calor	Describe una de las afectaciones más importantes que tiene el aumento de la temperatura (ICU'sup)	
Justicia climática	Concepto central para analizar la distribución espacial de las condiciones climáticas en la ciudad	
Planificación sensible al clima	Explica el contexto actual sobre planificación y clima y el surgimiento de la planificación y diseño sensible al clima	
Planificación sensible al clima en un contexto de cambio climático	Describe el marco institucional con respecto a la planificación sensible al clima en Chile	
Planificación sensible al clima en una ciudad árida	Entrega información respecto de otras ciudades del mundo en planificación sensible al clima en regiones áridas	

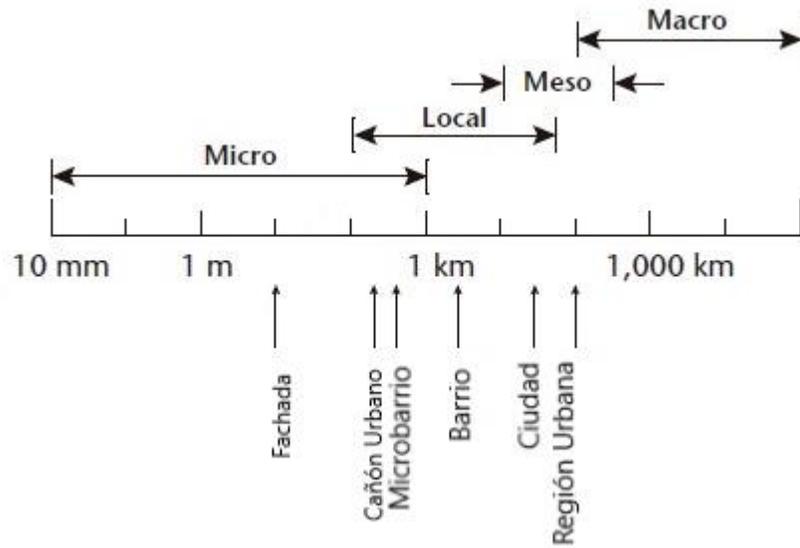
Fuente: Elaboración propia, 2022

2.1 Clima Urbano

En un primer acercamiento, y en una dimensión global del término, se entiende al clima como el comportamiento promedio de la atmósfera y las circulaciones de los océanos (Smith, 2018), sin embargo, el clima urbano es el estudio de los procesos físicos, químicos y biológicos que producen o modifican el estado de la atmósfera urbana (Oke et al, 2017). Por otra parte, Oke et al (2017a), señalan que existen tres dimensiones que los climas urbanos contienen en su desarrollo: 1) la climatología física, entendida como el uso de los conocimientos meteorológicos para explicar las diferencias y los fenómenos climáticos, 2) la descripción cuantitativa de los climas en sí mismo, y 3) el uso de los datos climatológicos para la solución de problemas prácticos.

Con respecto a las distintas escalas del clima (Ver Figura N°6), Oke et al (2017b) señala, 1) La macro-escala, la cual se extiende entre los 200km de extensión hasta los 1000km, por ejemplo, una región climática o grandes ecosistemas. 2) La meso escala, que abarca desde los 10km hasta los 200km, en estos casos se habla del clima de una gran metrópolis. Posteriormente, 3) La escala local se entiende como aquella que estudia el comportamiento de la atmósfera entre los 50km a los 100km, donde se puede entender como el clima de una ciudad media o un pueblo. Finalmente, 4) La microescala, que comprende desde 1 cm de superficie a los 1000 metros, pudiendo comprender el comportamiento climático de un barrio o de una calle. Para el caso de la presente investigación, resulta atinente el estudio tanto de la escala local como de la microescala.

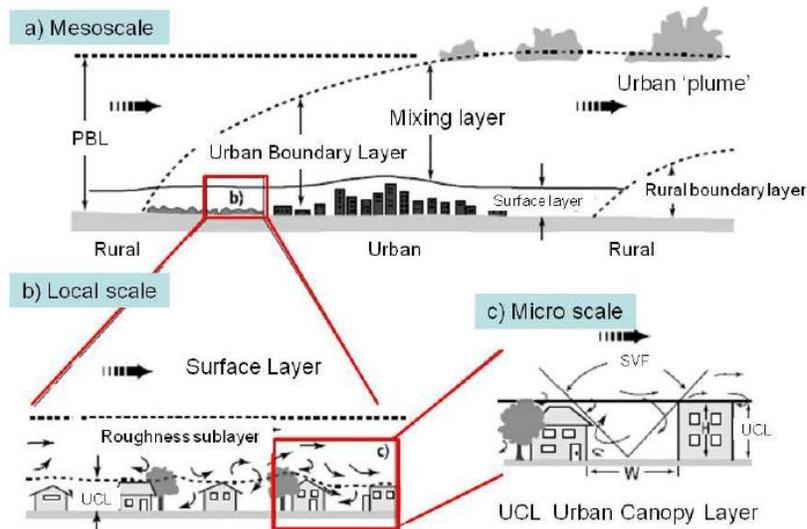
Figura N°6 Descripción de las distintas escalas del clima



Fuente: Modificado de Oke et al (2017)

Una manera de profundizar en la comprensión de estas distintas escalas, es incorporar los conceptos descritos por Oke (1976) en relación con el comportamiento vertical de la atmósfera urbana: *Urban boundary layer* (UBL) y *Urban canopy layer* (UCL) (Ver Figura N°7), el primero se entiende como la capa límite urbana superior y está condicionada por la acumulación de aire modificado térmicamente por las zonas de la ciudad sometidas a los vientos estudiados en los climas meso escalares (Carrasco, 2008 citado en Smith, 2016) o más allá de la ciudad (Voogt, 2008 citado en Gómez, 2014). Por otro lado, la capa de la cubierta o dosel urbana (*urban canopy layer*) corresponde a las condiciones atmosféricas que están contenidas bajo la altura de los edificios y está determinada por las condiciones propias de la geometría, los materiales de construcción de una ciudad (Oke, 1976) y vientos e intercambios energéticos analizados en una microescala (Arnfield, 2003). Para el desarrollo de este trabajo, es relevante contar con el análisis del *Urban Canopy Layer* ya que en esta escala es posible relacionar la temperatura superficial con las características del diseño urbano.

Figura N°7: Escalas del clima según Oke, et al (1997)



Fuente: Van Hove, Steeneveld, Jacobs, Heusinkveld, Elbers, Moors & Holtslag, (2011) modificado de Oke (1997)

2.1.2 Microclima

La escala microclimática estudia el clima de un área específica que, incluso, puede ser muy acotada en cuanto a su volumen o superficie, variar en cuanto a los distintos tipos de suelo, cualidades térmicas de los materiales, pendiente y orientación, entre otras (Ochoa de la Torre, 2009, citado en Smith, 2018). Por otro lado, la temperatura del aire, el balance de radiación y los vientos están determinados en una microescala por las condiciones del paisaje (Erell et al, 2012).

Gómez (2014) señala que en la escala micro es posible encontrar una gran diversidad de factores climáticos que explican el clima urbano como lo son la altitud, la vegetación y las áreas urbanas, asimismo, Arnfield (2003) considera que la geometría urbana, y las propiedades térmicas de las superficies son las principales características observables a esta escala. Por otro lado, Smith (2018) considera que la importancia de la microescala radica en la identificación de factores explicativos del comportamiento térmico, dándole importancia a los parámetros microclimáticos como la dirección de las calles.

La importancia del microclima urbano también radica en lo descrito por Ochoa de la Torre (2009a), quien menciona que, al ser una superficie de análisis tan reducida, los cambios de temperatura, humedad y flujo de viento pueden variar en muy poco tiempo, así como también pueden existir variaciones de estos elementos en muy pocos metros de distancia. Además, el autor señala que tanto el tipo de suelo, la presencia de cobertura vegetal, como las cualidades térmicas, la orientación y pendiente de las superficies son factores que pueden cambiar en muy poco tiempo o si la superficie de análisis se amplía (Ochoa de la Torre, 2009b).

Otros factores que destacan en el análisis del clima a microescala son aquellos relacionados con la morfología urbana o parámetros morfoclimáticos como el ancho de las calles, la altura de las edificaciones y construcciones y el factor de visibilidad del cielo (Sky view factor, SVF), los cuales han sido estudiados en cuanto a la descripción y explicación de los cañones urbanos (Smith, 2018), dando paso al entendimiento de la rugosidad urbana como un concepto importante a la hora de estudiar los fenómenos que suceden a esta escala y se relacionan con la disponibilidad de sol y sombra en el espacio público.

2.1.3 Isla de calor urbana (ICU)

Una de las principales características que provocan los tejidos urbanos, materiales y coberturas contenidos en una ciudad es la aparición del fenómeno de “Isla de Calor Urbana” (ICU). Este concepto se refiere a la mayor temperatura que poseen las áreas urbanas respecto de las rurales circundantes (Oke et al, 2017), y consiste en el aumento de la temperatura, tanto de la atmósfera como de las superficies en una ciudad a diferencia de sus entornos no urbanizados (Gómez, 2014). Tan et al (2010) menciona que este fenómeno es comúnmente observable durante las noches, en invierno y son mayormente identificables en condiciones de vientos suaves.

Dentro de las principales causas, Oke et al (2017) menciona que las principales causas fueron identificadas por Luke Howard y corresponden a los cambios que el desarrollo urbano provoca en el balance energético de las superficies no urbanas que posteriormente son utilizadas por una ciudad para su asentamiento. En otras palabras, es el cambio en el uso de suelo por uno impermeable que provoca un almacenamiento de la energía y, por ende, un aumento de la temperatura superficial y atmosférica.

En Chile, la isla de calor se presenta con mayor intensidad en grandes ciudades como lo es el caso de Santiago. Al espacializar el comportamiento de la temperatura del aire de verano, en la ciudad de Santiago, Smith y Romero (2016) encontraron que, pasadas las 22:00 hrs en Santiago y, por lo tanto, luego de aprox. 2 horas de la puesta de sol, se observa una isla de calor en el centro de la ciudad, que se desplaza levemente hacia el oriente, alcanzando diferencias de hasta 10°C. Esto se debe a que las coberturas urbanas acumulan gran cantidad de calor durante el día, y, posterior a la puesta de sol, comienzan a devolverlo a la atmósfera.

Es posible identificar cuatro tipos de ICU, de acuerdo con la clasificación elaborada por Oke et al (2017) (Ver Figura n°8):

1) La **Isla de calor subsuperficial (UHISub)**, estudiada en escalas locales, se define como aquella diferencia entre los patrones de temperatura del suelo en la ciudad, abarcando los urbanos, los construidos subterráneamente y los del suelo no urbano en los alrededores. Se encuentra ubicada a la derecha de la Figura.

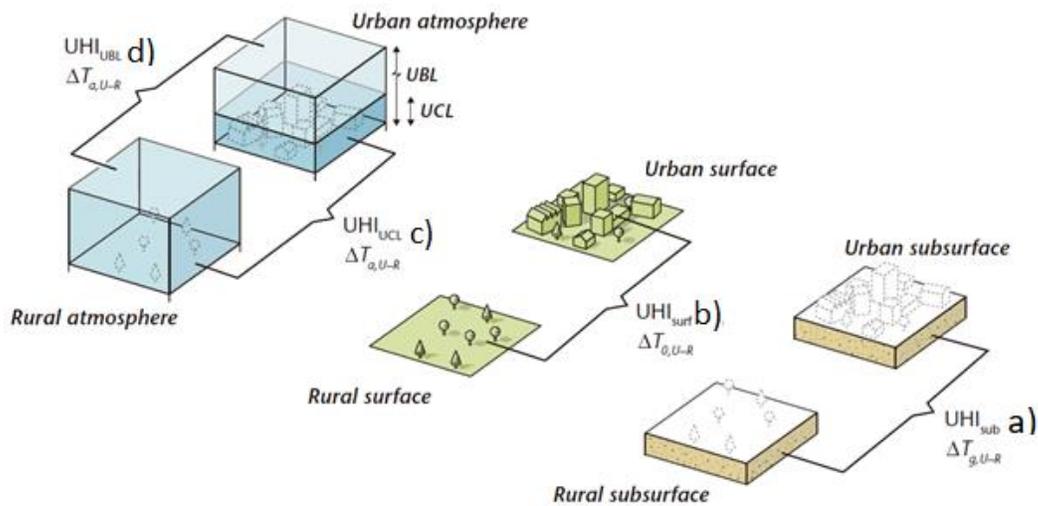
2) **Isla de calor de superficie (UHISurf)**, es posible entenderla desde una microescala y corresponde a la diferencia de temperatura entre los materiales sólidos de una ciudad y la atmósfera exterior, entendiendo, idealmente, que esas interfaces abarcan sus superficies completas. Ubicada en el centro de la Figura.

3) **Isla de calor de Urban Canopy Layer (UHIUCL)**, ésta se entiende como la diferencia de temperatura entre el aire contenido verticalmente entre la superficie y la altura media de las edificaciones de una ciudad y del campo, entendiendo la altura

correspondiente al urban canopy layer en los suelos rurales. Se encuentra a la izquierda de la imagen.

4) **Urban Boundary Layer (UHI_{UBL})**, corresponde a las diferencias de temperatura entre la zona superior al urban canopy layer y el urban boundary layer, es decir, hasta donde la ciudad tiene influencia en el comportamiento atmosférico. Es posible observarla en la esquina superior izquierda de la Figura.

Figura N°8: Ilustración de los distintos tipo de Isla de calor (ICU)



Fuente: Modificado de Oke et al, 2017

La ICU tiene distintos impactos en el territorio, uno de los principales y más atingente a la presente investigación es generado en verano y consiste en el aumento de las temperaturas en aquellas coberturas de suelo correspondientes a tejidos urbanos a diferencia de aquellos entornos no construidos donde las coberturas son naturales. Esto deriva en un aumento del estrés térmico de las personas y la necesidad de adquirir tecnología en refrigeración.

Sin embargo, otra característica importante de la ICU es que genera una disminución de los costos de calefacción en invierno (Oke et al, 2017). Esto basado

en la absorción de temperatura en las cubiertas urbanizadas en las estaciones frías del año, donde en las periferias de las ciudades, los niveles de humedad generan un enfriamiento que en los meses de invierno provoca un descenso considerable en la temperatura superficial, provocando así, una reducción del uso de elementos calefactores.

2.1.4 Justicia climática

El concepto de justicia climática aparece en un contexto de cambio climático, sin embargo, Hervé (2010) señala que en la década de 1970 aparece un concepto previo a la justicia climática, haciendo referencia al concepto justicia ambiental, el cual criticaba la desigual distribución de los beneficios ambientales, contrastado con la distribución de las desventajas ambientales, éstas afectando a los estratos más vulnerables de una sociedad.

En ese aspecto, la justicia climática aparece como perspectiva crítica mediante una escala planetaria, contemplando las diferencias entre países (Schlosberg, 2013, citado en Smith, 2018). Su análisis en una microescala es relevante para el desarrollo de la presente investigación, a pesar de la poca cantidad de estudios que incorporan al concepto como eje central.

El concepto se define como la desigual distribución de las consecuencias del cambio climático entre los países que más emiten gases de efecto invernadero versus otros países que se han visto mayormente afectados por el cambio climático en su calidad y forma de vida (Smith & Henríquez, 2019).

Asimismo, la justicia climática puede ser abordada desde una escala distinta, evaluando las diferencias en cuanto al clima urbano de una ciudad y así, trabajar el concepto de manera más aterrizada. Quintana et al (2021a) señalan que es posible evaluar las diferencias en la calidad del medio ambiente y como estas condiciones se distribuyen por las ciudades, entendiendo que estos comportamientos mantienen directa relación con los diferentes niveles socioeconómicos.

Por otro lado, para asegurar condiciones climáticas que proporcionen confort térmico en una ciudad, es necesario garantizar ciertos factores que ayuden a generar un entorno de calidad como lo son la solución de problemas ambientales tales como contaminación del aire, reducción de emisiones de contaminantes, una ventilación de la ciudad óptima, sombra en verano y luz en invierno (Quintana et al, 2021b).

En ese sentido, según Smith & Henríquez (2019) se puede hablar de injusticia climática cuando existe un grupo de la población que tiene menos acceso a espacios públicos de calidad dada la escasez en algunos barrios de la ciudad, además señalan que en estos sectores de las ciudades no existe ni la infraestructura ni el diseño necesario para proveer condiciones de confort térmico ambiental. Por el contrario, aquellos sectores de la ciudad donde la población es de clase alta existen recursos suficientes para mitigar de mejor forma aquellas afectaciones que genera la ola de calor o el estrés térmico, ya sea mediante espacios bien equipados, construcciones con mejor ventilación, entre otras medidas.

Con respecto a este cambio de enfoque que da paso a hablar de justicia climática en las ciudades, existen distintas maneras de abordar las injusticias del clima en distintas escalas, pero cabe destacar que el concepto debe ser entendido como un proceso acumulativo de trabajo a través de múltiples escalas y así poder entender la distribución de los efectos del cambio climático en una escala nacional e incluso local (Barret, 2013; Fisher, 2015).

Smith y Romero (2015) señalan que los factores explicativos de la distribución espacial de la temperatura del aire corresponden a la impermeabilización de los suelos y la presencia de coberturas vegetacionales. En ese sentido, Smith y Andrade (2013) señalan que estos dos aspectos se comportan de manera inversa puesto que, a mayor nivel de impermeabilización de los suelos, mayor es la temperatura, mientras que, cuando hay más presencia de vegetación la temperatura disminuye.

En un contexto de justicia climática es posible relacionar estos dos factores con aspectos socioeconómicos de los sectores de una ciudad, por un lado, los niveles

de impermeabilización y expansión de tejidos urbanos corresponden en su gran mayoría a la demanda de vivienda, mientras que la vegetación está más presente en sectores cuyos ingresos son más altos.

2.2 Un primer acercamiento a la planificación sensible al clima

Existen muchas formas de abordar la planificación territorial de una ciudad, la que más atención genera para este estudio es aquella que tiene en cuenta al clima urbano. Por lo tanto, en los siguientes párrafos se analiza cómo se relacionan el estudio del clima con los instrumentos de planificación territorial y cómo una ciudad puede mejorar sus condiciones climáticas mediante sus procesos de toma de decisiones.

Para estudiar la base de la organización de las ciudades es necesario remontarse a lo que plantea Garnier (1976), quien señala que la industrialización sería el origen del “desorden urbano”, y desde ese punto es posible situarse y comprender la evolución moderna de las ciudades, la cual no respondía a las demandas de calidad de vida los habitantes, ni mucho menos a las condiciones climáticas del asentamiento, sino que estaban dadas por acuerdos internacionales que solo respondían al valor de los suelos, lo cual derivaba en tejidos urbanos similares, incluso ciudades similares en climas diversos (Carrasco, 2016).

Esa tendencia no ha sido modificada por los tomadores de decisiones, ya que, en la actualidad se sigue perpetuando la falta de atención a las demandas de calidad de vida. Ante esto, Rebolledo (2003) plantea que la planificación ha tenido un sentido densificador, amplificador de estructuras viales o simplemente construcción de infraestructura, lo que genera un deterioro en las condiciones ambientales.

Como se señaló en un comienzo de la investigación, los procesos de planificación territorial han dejado de lado la influencia reguladora que tienen las coberturas vegetacionales, los flujos de viento dominantes, los cuerpos de agua, y las características térmicas de los materiales de construcción (Perico-Agudelo, 2009),

pues la importancia de estos factores no es tomada en cuenta, lo que no permite que la ciudad tenga un mejor comportamiento térmico de los barrios y espacios públicos, no pudiendo producir una mejora en el medio ambiente urbano.

Elliason (2000) plantea que existe una dificultad en los instrumentos de planificación para interiorizar temas climáticos, lo cual se debe, principalmente a falta de comunicación entre las autoridades y aquellos que se dedican a investigar sobre el clima urbano, también se debe a la falta de conocimiento, prioridades, limitaciones económicas y tiempos de los mandatos de las distintas autoridades. Por otro lado, Andrade (2005) señala que esta distancia entre planificación y clima se debe a falta de voluntad política.

En la actualidad, es necesario extender la perspectiva de la planificación territorial hacia un punto de vista que tenga como uno de sus principales ejes el enfoque ambiental, haciendo énfasis en el comportamiento climático. En ese sentido, Arellano y Roca (2015) proponen que el diseño urbano y la planificación territorial tengan una óptica orientada hacia escalas más pequeñas, los bioclimas urbanos y el uso de la eficiencia en materia energética dentro de las edificaciones.

2.2.1 Planificación urbana en contexto de cambio climático

A pesar de no ser la primera vez que el planeta presenta variaciones climáticas, ya sean por causas endógenas o naturales, el cambio climático que se ha observado en el último tiempo no responde a causas naturales, sino que se asocia prácticamente en su totalidad a actividades realizadas por los humanos (IPCC, 2014). Por otra parte, Garreaud (2011) señala un incremento en los gases de efecto invernadero desde la etapa previa a la industrialización hasta la actualidad.

Este fenómeno deriva en una variación de la temperatura, específicamente, un aumento de ésta provoca cambios en los regímenes de precipitación, provocando lluvias extremas, aumento del nivel del mar, olas de calor, sequía y veranos más largos y secos (Barton & Harris, 2011). En una escala global y con respecto a la

temperatura, se estima que aumente en 2°C hacia la mitad del siglo XXI, lo que puede desencadenar en catástrofes ambientales a nivel global o regional, cabe destacar que, si bien estas variaciones son en escala global, los efectos irán variando de manera latitudinal (Smith, 2018).

El cambio climático es un fenómeno relacionado con el aumento sostenido de eventos extremos en todo el planeta, por lo que las ciudades son aquellas unidades territoriales que más verán afectado su comportamiento climático, puesto que concentran la mayor cantidad de la población pues, como se mencionó anteriormente, más del 50% de la población mundial, reside en ciudades, a nivel nacional esta cifra bordea el 90%. Villanueva-Solís et al (2013) señalan que tanto las olas de calor, como la Isla de Calor Urbana se verán intensificadas, ante esto, es necesaria la discusión coyuntural con respecto al estrés térmico y a la inversión económica que provoca contrarrestarlo.

Este incremento de las temperaturas globales ha llevado a distintas medidas por parte del aparato público chileno, por ello, en enero de 2020 el Proyecto de Ley Marco de Cambio Climático (PLMCC) inició su proceso de tramitación en el Senado, en agosto de 2020, el Senado aprobó por unanimidad la idea de legislar, cerrando un proceso de discusión que contó con actores sociales, académicos, privado, público e internacional. Posteriormente, en enero de 2021 la comisión de Medio Ambiente y Bienes Nacionales del Senado aprobó las indicaciones al proyecto. Finalmente, dicha revisión terminó en julio de 2021 con la aprobación del PLMCC pasando a su discusión en la Cámara de Diputados.

A mediados de junio de 2022, el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) presentó la Ley N°21.455 llamada: Ley Marco de Cambio Climático, la cual fue presentada en el diario oficial el día 13 de junio de 2022, la cual tiene:

“Por objeto hacer frente a los desafíos que presenta el cambio climático, transitar hacia un desarrollo bajo en emisiones de gases efecto invernadero y otros forzantes climáticos hasta alcanzar y mantener la neutralidad de emisiones de gases de efecto invernadero al año 2050, adaptarse al cambio climático, reduciendo la vulnerabilidad y aumentando la resiliencia a los

efectos adversos del cambio climático, y dar cumplimiento a los compromisos internacionales asumidos por el Estado de Chile en la materia”.

(Diario Oficial de la República, 2022a)

Sin embargo, presenta algunos principios importantes, tales como en el artículo 2° principio d) Equidad y Justicia Climática, donde menciona que el Estado:

“Procurará una asignación de cargas, costos y beneficios, resguardando la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades con enfoque de género y especial énfasis en sectores, territorios, comunidades y ecosistemas vulnerables al cambio climático”.

(Diario Oficial de la República, 2022b)

Además, señala que la Justicia climática se define como aquella que:

“busca el trato justo de todas las personas, así como evitar las discriminaciones que pueden conllevar determinadas políticas y decisiones que pretenden abordar el cambio climático”.

(Diario Oficial de la República, 2022c)

Esto provoca un avance en materia de garantías frente al fenómeno del cambio climático, entendiendo la importancia de la asignación de costos y beneficios, no obstante, no es tajante al mencionar a los climas urbanos. A pesar de ello, menciona herramientas claves en materia de planificación urbana y ordenamiento, puesto que incorporarán consideraciones ambientales del desarrollo sustentable relativas a la mitigación y adaptación al cambio climático. Por otro lado, el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) elaborará una guía de Evaluación Ambiental Estratégica con el objetivo de integrar al cambio climático en los instrumentos de ordenamiento y planificación territorial, dándole carácter obligatorio.

Por otro lado, el Ministerio del Medio Ambiente tuvo la iniciativa de integrar el Cambio Climático (CC) en los instrumentos de ordenamiento territorial mediante una

guía metodológica que integre al CC a nivel regional y comunal. Esta idea tiene como fundamento la mitigación y adaptación al CC en Planes regionales de ordenamiento territorial (PROT), Zonificaciones del borde costero (ZBC), Planes reguladores intercomunales (PRI), Planes reguladores metropolitanos (PRM) y Planes reguladores comunales (PRC).

Sin embargo, en 2014 nace una iniciativa pública que involucra a una escala más pequeña al CC y corresponde a la Red Chilena de Municipalidades ante el Cambio Climático, este proyecto busca, entre otras cosas, desarrollar políticas, estrategias, planes y programas locales para hacer frente a los desafíos del CC en cuanto a adaptación y mitigación, por otro lado, busca promover el rol público del municipio y su responsabilidad de llevar a cabo las acciones climáticas que buscan asegurar el bienestar de la comunidad.

2.2.2 Planificación sensible al clima en una ciudad árida

Sumado a lo descrito anteriormente, la presente investigación se enmarca en un contexto de planificación sensible al clima con la salvedad de entender el comportamiento del clima urbano en una ciudad árida, la cual, de una u otra forma, complejiza las medidas de mitigación con respecto a la Isla de Calor Urbana, la sequía o las olas de calor. Esta dificultad recae no tan sólo en las dinámicas atmosféricas de la ciudad, sino que también en la falta de estudios con respecto a la planificación territorial en una ciudad árida. En la Tabla N°2 se resumen algunos de ellos.

Uno de los principales factores que hay que tomar en cuenta cuando se hace una planificación sensible al clima es la radiación solar, más aún en una ciudad árida, por ello, el confort térmico de los habitantes de estos espacios radica principalmente en los niveles de exposición al sol que sufren durante el día. Si bien la primera solución que surge se asocia al aumento de la vegetación considerando el esquema de una ciudad oasis planteada por Gómez (2014), afectando los grados de visión

de cielo y la rugosidad del espacio y, por lo tanto, aumentando la sombra y disminuyendo la insolación, puede ser una alternativa poco viable en este contexto.

Una medida interesante para mitigar los efectos del cambio climático en una ciudad árida, son las implementadas por Evans & De Schiller (2005), quienes analizan la ciudad de Tampico, una ciudad ubicada en un clima tropical y cálido, allí plantean una evaluación de la materialidad y de las superficies para disminuir el impacto térmico. Entre las medidas que más resaltan, se encuentra: mantener espejos de agua, conservar zonas de vegetación urbana, evitar grandes concentraciones de asfalto y promover el arbolado urbano y el uso de vegetación en predios particulares.

Con respecto a las investigaciones realizadas para la planificación sensible al clima en contextos áridos, una de las más cercanas corresponde a la realizada por Correa et al (2006) donde se realiza un estudio de la Isla de Calor en la ciudad de Mendoza, San Juan, Argentina, la cual coincide con Arica al ser ciudades áridas, carentes de vegetación y con una alta amplitud térmica, una de las conclusiones más llamativas que se pueden desprender de este trabajo es el enfoque que se hace con respecto a la radiación solar y su rol determinante en materia de confort térmico, señalando que se debe hacer énfasis en las propiedades térmicas de los materiales, proteger las fachadas durante las horas de insolación, pudiendo así, disminuir la absorción de los espacios y despejar la visión de cielo para aprovechar el potencial de enfriamiento radiativo nocturno.

En un contexto árido es esencial reemplazar la forestación como medida de paliación al aumento de las temperaturas para no incrementar los niveles de estrés hídrico o generar un gasto mayor en cuanto al agua para riego. Por lo tanto, uno de los aspectos más importantes de planificación territorial es ver alternativas para la población como lo pueden ser las realizadas por Alchapar (2012a), quien realiza un estudio en la misma ciudad de Mendoza dándole mayor protagonismo a las propiedades termofísicas de los materiales como estrategia de mitigación frente a los efectos de las altas temperaturas, mediante el cálculo del Índice de Reflectancia Solar.

Por otro lado, el color también corresponde a un recurso útil para mitigar los efectos de la ICU, en ese sentido, los colores más claros o cercanos al blanco proporcionan un mayor albedo, por ende, un mejor comportamiento térmico, el cual encaja con una estrategia de enfriamiento pasivo (Gómez, 2014). Sin embargo, Alchapar (2012b) especifica que no solo el color es relevante en la materia, sino que la composición de la pintura conlleva un gran punto de análisis y que deben estar directamente relacionadas con el color para cumplir con una tasa de enfriamiento relevante.

Otro ejemplo de planificación urbana en una ciudad árida corresponde al realizado por Kurban et al (2002), el cual hace referencia a la importancia de la forestación urbana en el balance de la carga climática urbana, los autores plantean que la forestación urbana es el principal modificador de la temperatura y la humedad relativa, por lo tanto deben realizarse estudios particularizados que contemplen por separado las especies adaptadas al suelo y al clima, su permeabilidad, la radiación solar estacional, su copa en edad adulta y su altura de fuste. En otras palabras, no se aprovechan las potencialidades higrotérmicas de la forestación como acondicionamiento de los espacios abiertos.

Para Castro et al, 2017, la importancia de la trama azimutal consigue el mejor desempeño en confort térmico, como en comportamiento de la temperatura, sin embargo, no logra objetivos favorables en periodos nocturnos, puesto que no alcanza el mejor rendimiento en cuanto a habitabilidad y enfriamiento nocturno se refiere. No obstante, se recalca la importancia que tienen las decisiones en materia de diseño y planificación ya que los autores señalan que vincular aspectos como superficie y volumen construido con ancho H/W y forestación con el estudio de confort térmico COMFA de Brown y Gillespie (1995).

Una medida interesante corresponde al análisis de azoteas, ya que son aquellas coberturas que predominan en gran parte de los tejidos urbanos, sobre todo en los centros urbanos consolidados, en ese sentido, Villanueva-Solis et al (2013) señalan que elaborar estrategias enfocadas en las azoteas ayudarán más que la reforestación, obteniendo resultados inmediatos, a diferencia de reforestar, donde

es necesario esperar el crecimiento de las coberturas vegetacionales, lo que se acrecienta considerando el contexto de ciudad árida.

Tabla N°2: Resumen de estudios sobre planificación urbana sensible al clima en ciudades áridas.

Ciudad	Clima	Medidas consideradas	Fuente
Tampico	Tropical Cálido	Evaluar la materialidad de las superficies, conservación de espejos de agua,	Evans & De Schiller, 2005
Mendoza	Árido	Propiedades térmicas de los materiales, protección de fachadas	Correa et al, 2006
Mendoza		Propiedades térmicas de los materiales, cálculo de índice de reflectancia solar, composición de la pintura	Alchapar, 2012
Mendoza		Forestación urbana, aprovechar las potencialidades higrotérmicas	Kurban, 2002
Copiapó		Cambio en los colores a tonalidades cercanas al blanco	Gómez, 2014
Mendoza		Importancia de la trama azimuthal, relación entre volumen construido con ancho (H/W) y forestación	Castro et al, 2017
Mexicali		Estrategias enfocadas en las azoteas, materiales utilizados para su construcción.	Villanueva-Solis et al, 2013

Fuente: Elaboración propia, 2022

Capítulo 3: Materiales y métodos

La presente investigación propuso relacionar directamente el diseño urbano de la ciudad con la temperatura superficial, teniendo en cuenta la materialidad y el comportamiento térmico a microescala. Por ello, este trabajo necesitó una metodología que lograra contrastar los parámetros morfológicos y la distribución de la temperatura, lo que requirió un trabajo metodológico de tipo cuantitativo, donde la recolección de datos de monitoreo de la temperatura superficial fue en distintas escalas de análisis y pudieron ser relacionadas con el diseño urbano y las materialidades presentes en la ciudad.

En ese sentido, existen diferentes enfoques escalares, ya sean espaciales o temporales, con respecto a las escalas espaciales, en primer lugar, se realizó un análisis del comportamiento de la temperatura superficial de la ciudad completa mediante *Google Earth Engine*, donde se recolectó información del verano de 2022, y recopilaciones de antecedentes provenientes del censo de población y vivienda de 2017 (INE, 2017).

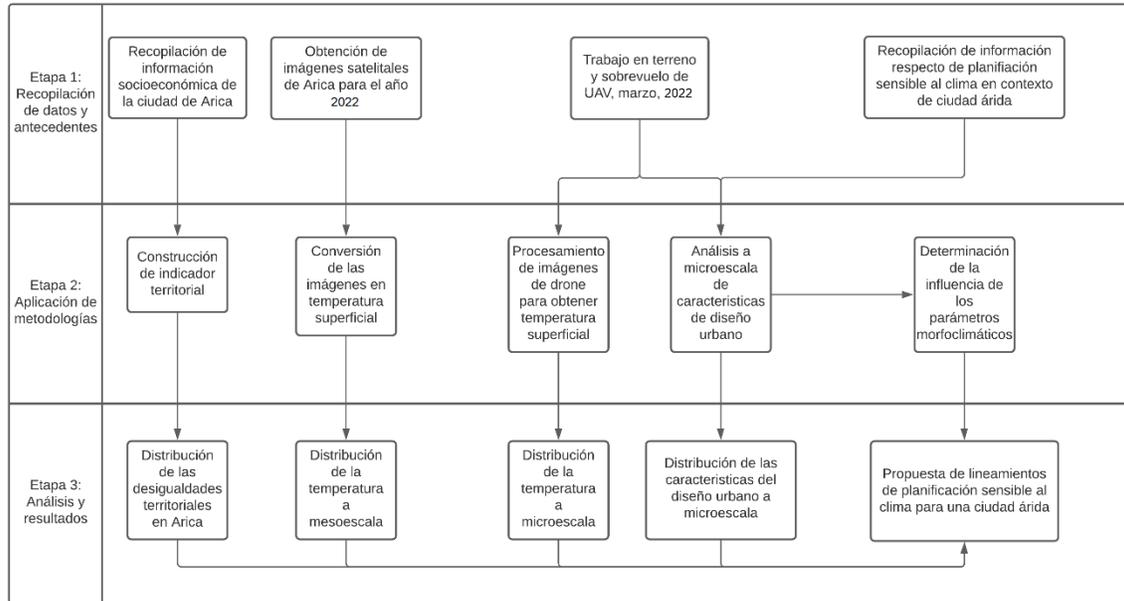
Por otro lado, a escala microclimática, se realizaron vuelos con dron en una campaña de terreno realizada en el mes de enero de 2022, donde se pudo modelar la temperatura superficial con un nivel de detalle y una resolución mucho mayor, permitiendo obtener inferencias con respecto a las coberturas y usos de suelo y su comportamiento térmico.

Respecto a los niveles socioeconómicos, se construyó un indicador de vulnerabilidad territorial (IVT) el cual proporciona una visión más sistemática de los niveles socio-materiales de la ciudad de Arica, entregando un nivel de detalle espacial mucho mayor que permite estructurar las diferencias en la población a través de la escala de zona censal.

En la Figura N°9 es posible observar un resumen gráfico de la metodología realizada en la presente investigación.

3.1 Esquema metodológico

Figura N°9: Esquema metodológico



Fuente: Elaboración propia, 2022

A continuación, la metodología propuesta será descrita a partir de cada objetivo específico.

3.2 Análisis del comportamiento de la temperatura superficial y su vinculación con las condiciones socioeconómicas

Para el cumplimiento del primer objetivo específico se requieren dos pasos metodológicos, en primer lugar, es necesario identificar aquellas zonas de la ciudad de Arica que presenten mayores diferencias socioeconómicas y, de esa forma, poder contrastar las características del diseño urbano y sus materialidades en una mesoescala.

3.2.1 Monitoreo de imágenes satelitales para el análisis mesoescalar de la temperatura superficial

En primer lugar, se monitoreó el comportamiento mesoescalar de la temperatura superficial mediante imágenes satelitales Landsat con el propósito de obtener la distribución de la temperatura superficial de la ciudad. Estas técnicas metodológicas proporcionan un primer avance a la investigación que permite conocer las principales diferencias que tiene la ciudad de Arica en la distribución de la temperatura.

Para el cumplimiento de lo anterior fue necesario trabajar con el software Google Earth Engine (GEE) el cual proporciona distintas posibilidades con respecto al monitoreo y trabajo de las imágenes satelitales. Además, entrega una resolución espacial bastante grande, llegando a píxeles de 30 metros en la banda termal a partir de un reescalamiento, por otro lado, es posible trabajar con distintas escalas temporales ya que contiene información de principios de la década de 1980 lo que permite, entre otras cosas, poder tener un control sobre los principales cambios en los usos de suelo a lo largo del tiempo y en la configuración espacial de una ciudad.

La temperatura superficial se obtuvo a través de la construcción de un código en lenguaje de programación JavaScript, el cual permite controlar las variables que se necesitan analizar pudiendo observar la superficie escogida. Para llevar a cabo este procedimiento y llegar a un resultado más preciso, los pasos están descritos a continuación.

3.2.1.1 Cálculo de la Radiancia Espectral para el cálculo del Tope de la Atmósfera (TOA)

El primer paso para la obtención de la temperatura superficial es calcular la radiancia espectral que determina la temperatura de brillo en el Tope de Atmósfera

(TOA), a partir de la formula expresada en la ecuación N°1 que trabaja con la banda infraroja (10 en Lansat 8).

Ecuación N°1:

$$L\lambda = M_L \times Q_{cal} + A_L - O_I$$

Donde $L\lambda$ corresponde al valor de la radiancia espectral del TOA; M_L representa el valor de reescalamiento multiplicativo específico para la banda 10; Q_{cal} corresponde a la banda 10; A_L es otro factor de reescalamiento aditivo específico de la banda 10; y finalmente, O_I corresponde a la corrección para la banda 10.

3.2.1.2 Conversión de TOA a temperatura de brillo

Habiendo obtenido la radiancia espectral es posible determinar la Temperatura de brillo del TOA o temperatura radiante obtenida en grados Kelvin por lo que se deben restar 273,15 en la ecuación. Es necesario usar las constantes termales contenidas en la información (metadata) del satélite. Para ello se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación N°2:

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left[\left(\frac{K_1}{L\lambda}\right) + 1\right]} - 273,15$$

Donde BT es la temperatura de brillo; K_1 y K_2 son las constantes termales específicas que requiere la conversión, disponibles en la metadata de la banda termal y finalmente se deben restar 273.15 para que el resultado sea en grados Celsius.

3.2.1.3 Corrección de la emisividad por medio del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), mide la cantidad, la calidad y el desarrollo de la vegetación utilizando la reflexión de la clorofila en la región espectral del infrarrojo cercano y se obtiene a partir de las bandas roja (R) e

infrarroja cercana (IR), n° 4 y 5 del satélite Landsat 8, respectivamente. La ecuación deriva en una división entre la diferencia de la banda infrarroja cercana y la banda roja visible, y la suma de ambas bandas:

Ecuación N°3

$$NDVI = \frac{NIR (banda 5) - R(banda 4)}{NIR (banda 5) + R (banda 4)}$$

3.2.1.4 Cálculo de porción vegetal (Pv)

Para calcular la porción vegetal es necesario utilizar el NDVI obtenido anteriormente, utilizando sus valores de la siguiente manera:

Ecuación N°4:

$$Pv = \frac{(NDVI - NDVI \min)}{(NDVI \max - NDVI \min)}$$

A partir de los valores máximos y mínimos del NDVI es que se logra un mayor nivel de representatividad respecto a las coberturas.

3.2.1.5 Cálculo de emisividad de superficie (ε)

El cálculo de la emisividad de superficie corresponde a un cálculo que integra la rugosidad del terreno representado por una constante (primer valor), la porción vegetal y un factor de corrección de la ecuación. Se aplica la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = 0,004 \times Pv \times 0,986$$

La importancia de este cálculo radica en el cálculo final de la temperatura superficial dada en la emisividad puesto que se trata de un factor de proporcionalidad que predice la radiancia emitida mediante la predicción de la radiancia de los cuerpos negros y permite conocer la eficiencia de transmitir la energía termal a lo largo de la superficie y hacia la atmósfera (Avdan & Jovanovska, 2016).

3.2.1.6 Cálculo de la temperatura superficial

Con los resultados anteriores fue posible finalmente, calcular la temperatura superficial de la ciudad de Arica mediante la siguiente ecuación.

$$LST = \frac{BT}{\left(1 + \left(0,00115 \times \frac{BT}{1,14388}\right) \times \ln(\varepsilon)\right)}$$

3.6

3.2.2 Construcción de indicador territorial para el análisis de la temperatura superficial

La construcción del indicador territorial se basó en información proveniente del Censo de población y vivienda de 2017 (INE,2017). A través de este indicador fue posible identificar aquellos sectores de la ciudad que reúnan a la población más vulnerable con respecto al estrés térmico y las amenazas de la isla de calor y el cambio climático. El indicador se resume en la tabla N°3, donde se establecen las tres dimensiones, pudiendo obtener 4 variables.

Tabla N°3: Descripción de variables de indicador

Dimensión	Variable	Datos	Año	Escala	Fuente	Estándares	Unidad
1. Social	Población vulnerable	Censo	2017	Nacional – Zona censal	INE, 2017	Menores a 15 años y mayores a 65 años	Porcentaje por zona censal
	Años de escolaridad del jefe/a de hogar	Censo	2017	Nacional – Zona censal	INE, 2017	0 años a 21 años	Porcentaje por zona censal
2. Vivienda	Materialidad	Censo	2017	Nacional – Zona censal	INE, 2017	Tejas, Losa, Zinc, Fonolita, Paja, Material precario, Sin cobertura de techo	Porcentaje por zona censal
3. Hacinamiento	Hacinamiento	Censo	2017	Nacional – Zona censal	INE, 2017	Personas por habitación	Porcentaje por zona censal

Fuente: Elaboración propia a partir del Censo de Población y Vivienda, 2017

Habiendo reunido todas las variables antes mencionadas, se construyó un indicador mediante la herramienta *Weighted Overlay* en el software *ArcGIS Pro*, donde ingresaron todas las variables en formato *Raster*, puesto que es el único formato que se permite para realizar la operación, por ello, tanto la población vulnerable fue evaluada según rango etario, años de escolaridad del jefe de hogar, la materialidad de los techos de la vivienda y el hacinamiento.

3.3 Evaluación de la relación entre la temperatura superficial y las características del diseño urbano a microescala

Con respecto al objetivo específico N°2, el cual comprende un acercamiento a la microescala del clima, es necesario volver a hacer un monitoreo de la temperatura, sin embargo, en esta instancia de la investigación dicho monitoreo resulta de la obtención de imágenes a partir de un vehículo aéreo no tripulado (UAV – dron).

Para ello se utilizó específicamente un dron Mavic pro-2 enterprise dual. Sorenson (2018) plantea que este aparato es de gran fiabilidad y tiene un muy buen rendimiento, además, este equipo permite visualizar la temperatura superficial ya que cuenta con un sensor radiométrico FLIR® y una cámara de alta resolución de 12 megapíxeles.

En segundo lugar, el cumplimiento de este objetivo incluyó el análisis de la dimensión material de los barrios identificados en el primer objetivo, pudiendo reconocer configuraciones espaciales que condicionen el comportamiento de la temperatura y así poder contrastar el comportamiento de la temperatura superficial con el diseño urbano y la materialidad a microescala.

3.3.1 Cálculo de la temperatura superficial a microescala. Uso de u.

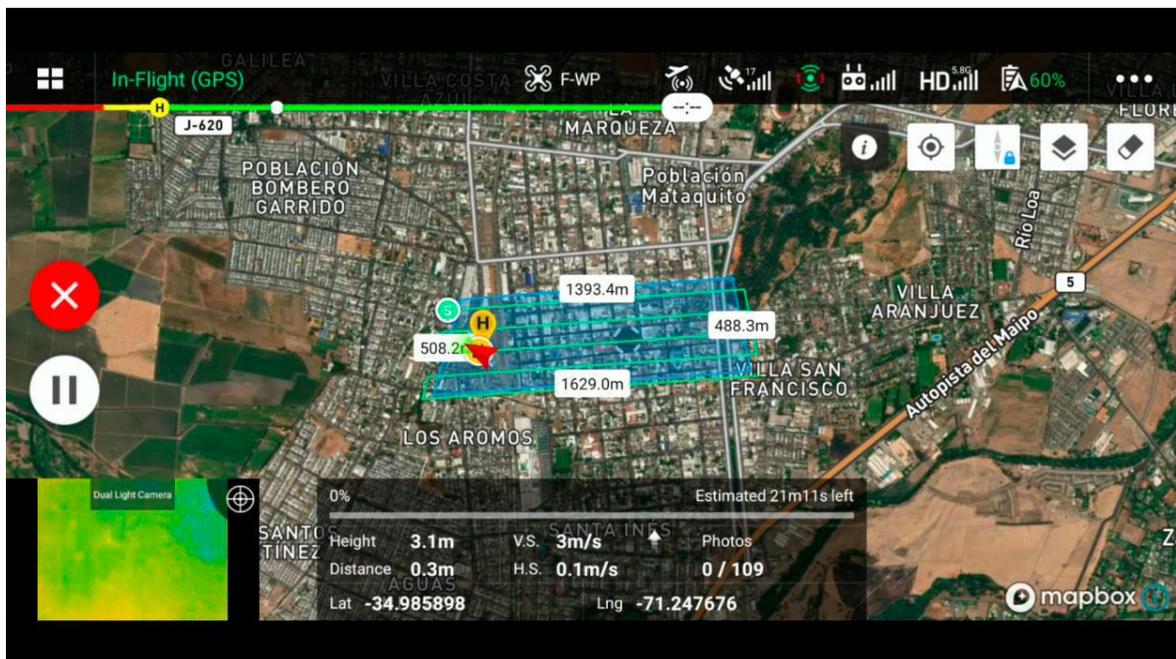
Uno de los grandes avances en cuanto al monitoreo de la temperatura superficial es el uso de vehículos aéreos no tripulados, los cuales entregan imágenes de mucha mejor resolución que el realizado por monitoreo de imágenes satelitales, lo que permite un mejor análisis de las materialidades y el comportamiento de la temperatura a microescala. (Burud et al., 2018).

3.3.1.1 Elaboración del plan de vuelo

Los vuelos llevados a cabo fueron planificados utilizando la aplicación DJIPilot, la cual permite trazar la ruta que hará el dron para cubrir la superficie propuesta, y controlar diferentes variables tales como la altura a la cual se sobrevuela, tiempo destinado entre cada una de las ortofotos y la distancia final a recorrer para llevar a cabo el vuelo.

Durante el vuelo, la aplicación permite observar la velocidad a la que se viaja, el estado de batería, avisos de posibles riesgos al momento de volar (Ver Figura N°10).

Figura N°10: Ejemplo de aplicación DJI Pilot en plan de vuelo



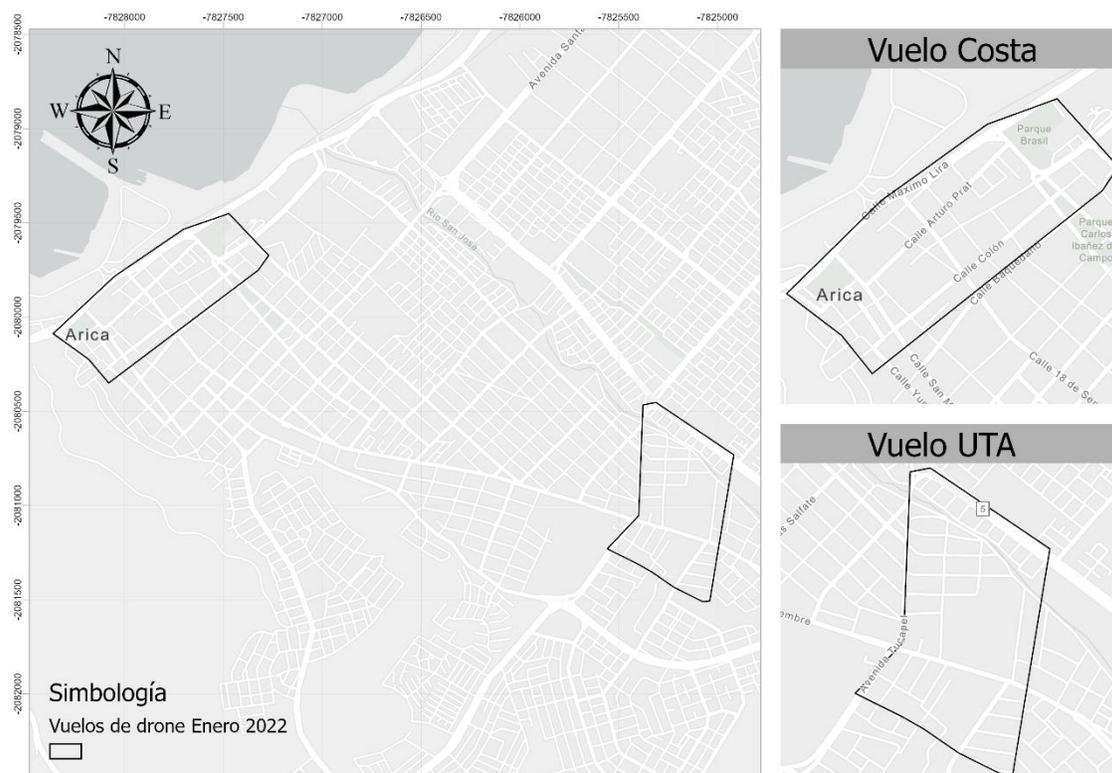
Fuente: Fondecyt de Iniciación N°11180990 (2018-2021): “La construcción del clima urbano: hacia la calidad y justicia climática en las ciudades chilenas”. Pamela Smith

3.3.1.2 Realización de vuelos

Para la presente investigación, se realizó una campaña en terreno en enero de 2022 cubriendo dos zonas de la ciudad:

1. Zona Residencial (vuelo UTA)¹, entre Avenida Diego Portales, Tucapel, Plaza San Martín, Avenida Alcalde Edmundo Flores y Miguel Ahumada.
2. Centro de la ciudad (vuelo Costa)², específicamente entre el Parque Brasil y la Plaza Vicuña Mackenna y entre las calles Máximo Lira y Colón (Ver Figura N°11).

Figura N°11: Vuelos realizados en la ciudad de Arica. Enero 2022



Fuente: Elaboración propia, 2022.

¹ Llamado así por el lugar desde donde se voló el Dron

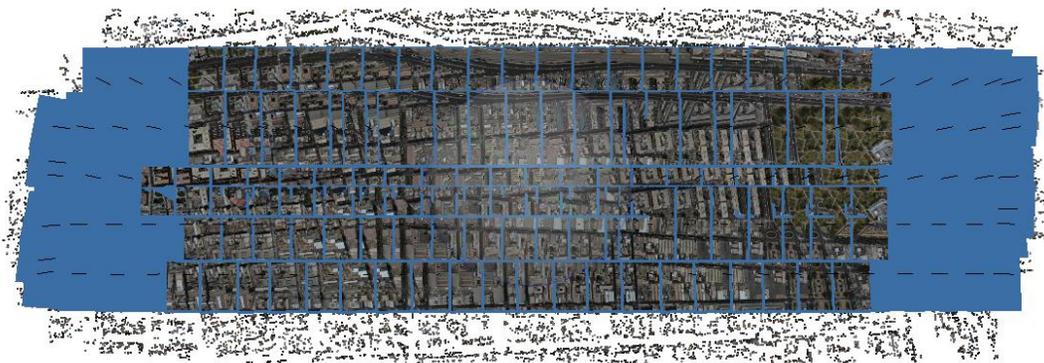
² Llamado así por el lugar desde donde se voló el Dron

El trabajo en terreno fue realizado durante 3 días y los vuelos fueron realizados al mediodía, entre las 12:00 hrs y 13:00 hrs y en ambos casos el dron voló a 120 metros de la superficie, cabe destacar que para la presente investigación se seleccionaron los vuelos correspondientes a los días 10 y 11 de enero de 2022.

3.3.1.3 Procesamiento de imágenes: Construcción de ortofotomosaico

Posterior al trabajo en terreno se realizó un postproceso de las imágenes obtenidas, este consistió en una unión y alineación de todas las imágenes que recopiló el dron en el software Agisoft Metashape (Ver Figura 12), donde se obtuvieron las ortofotos proyectadas en WGS1984 Huso 19S, proyección que permite coordinación con los procesos necesarios en un punto más adelantado de la investigación. Por otro lado, este software permite generar modelos 3D y modelos de elevación digital (DEM por su sigla en inglés) los cuales son beneficiosos para un eventual análisis del factor de visión de cielo (Sky View Factor – SVF).

Figura N°12: Alineación de ortofotos en Agisoft Metashape



Fuente: Elaboración propia, 2022

Se alinearon 148 imágenes en el vuelo del centro de la ciudad, mientras que para el vuelo de la UTA se alinearon 230, y se creó una nube de puntos densa (Ver Figura N°13), que permite obtener un modelo 3D de la zona, un DEM y un ortofotomosaico final. La nube permite calcular la distancia entre los puntos que cada ortofoto

entrega, esta red de puntos 3D se basa en los principios de la aerofotogrametría, dado que proporciona la información de los objetos en la superficie por medio de imágenes aéreas.

Figura N°13: Nube de puntos densa en Agisoft Metashape



Fuente: Elaboración propia,2022

Con respecto al modelo 3D, este nace directamente de la nube de puntos densa, para este caso específico se identificaron más de 125.000 puntos, los cuales permitieron generar un Tiled Model, el cual se entiende como un modelo 3D que permite observar la rugosidad urbana de la superficie sobrevolada (Ver Figura N°14).

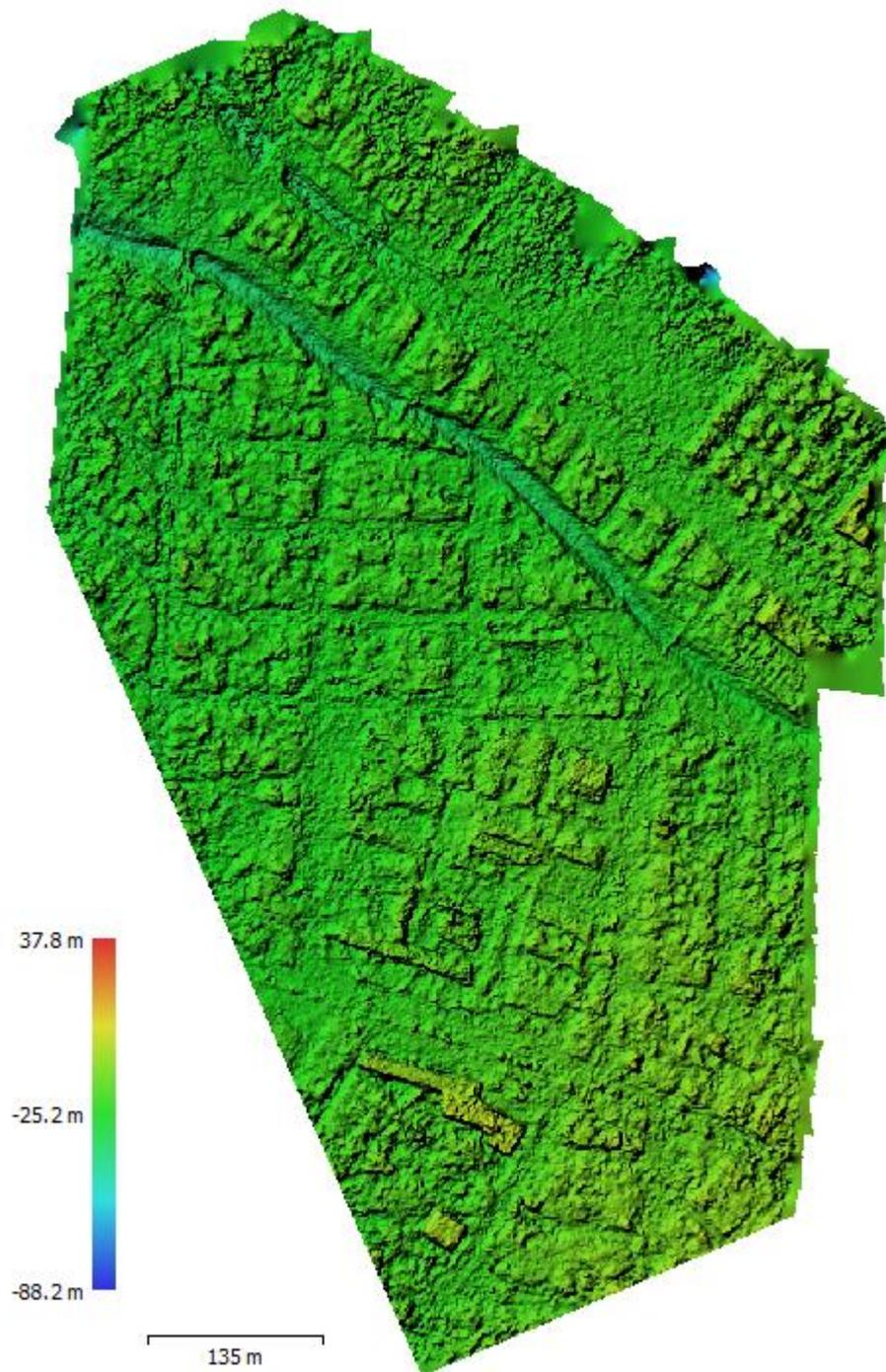
Figura N°14: Tiled Model, modelo 3D en Agisoft Metashape



Fuente: Elaboración propia, 2022

Posterior a eso, se generó un DEM a partir de la planimetría que se obtiene por medio del modelo 3D, este modelo de elevación permite identificar mediante una paleta de colores, las distintas altitudes que tiene el área de estudio (Ver Figura N°15), entregando así un nivel de detalle a nivel de edificaciones.

Figura N°15: Modelo de elevación digital DEM en Agisoft Metashape



Fuente: Elaboración propia, 2022

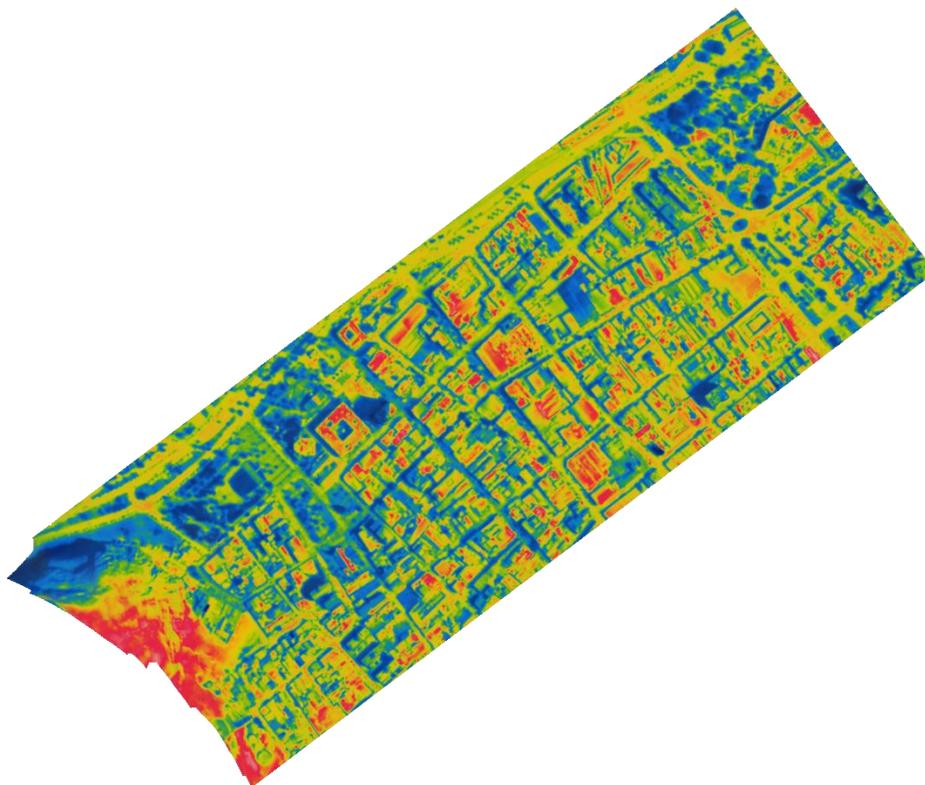
Finalmente, todos los procesos anteriormente mencionados permiten que el software genere dos ortofotomosaicos: ortofotomosaico en color verdadero y ortofotomosaico termal (Ver Figura N°16 y Figura N°17), cuyas resoluciones son de 4,4 cm/pix para el caso de los ortofotomosaico y 22,5 cm/pix para el caso de los ortofotomosaicos termales, lo que da paso a una imagen final con la información cualitativa.

Figura N°16: Ortofotomosaico final en color verdadero en Agisoft Metashape



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura N°17: Ortofotomosaico termal final en Agisoft Metashape

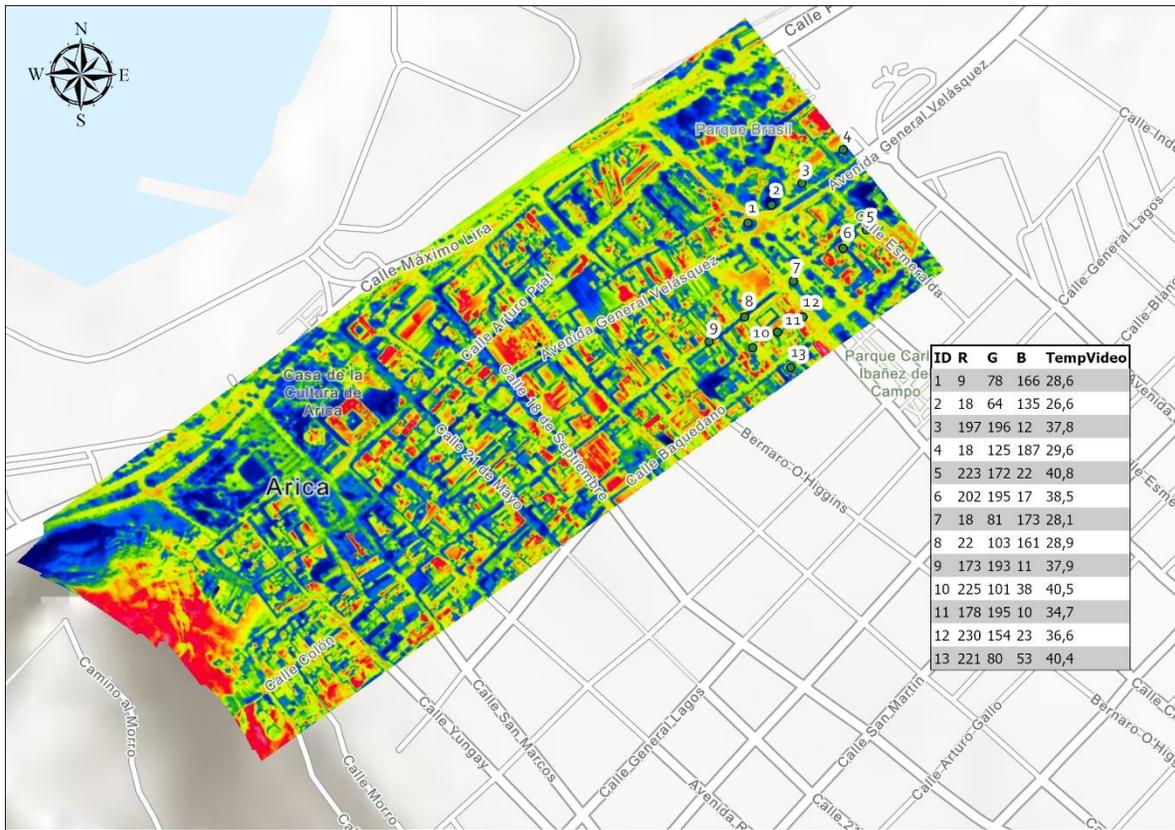


Fuente: Elaboración propia, 2022

3.3.1.4 Obtención de temperatura superficial en grados Celsius. Conversión de información cualitativa a cuantitativa

Con el ortofotomosaico termal completado, fue necesario convertir la información de colores RGB que contiene cada píxel, la cual es de carácter cualitativo y debe ser transformada a cuantitativa. Esto se llevó a cabo, en primer lugar, aplicando puntos de control al ortofotomosaico en el software ArcGIS, en total fueron 12 puntos de control (Ver Figura 18), los cuales posteriormente fueron tabulados para poder ser trabajados en el software Excel.

Figura N°18: Localización y Tabla de Puntos de control en el software Arcgis



Fuente: Elaboración propia, 2022

Al tabular los puntos de control, se registró: identificación del punto (ID), información de temperatura en °C obtenida del video del vuelo en la aplicación DJI Pilot y su información de píxel incluida en las bandas RGB.

Con la información anterior, se construyó un modelo de regresión lineal múltiple (Ver Figura N°19), con los datos de temperatura superficial como variable dependiente y los códigos RGB de los puntos de control del ortofotomosaico como variables independientes, con el propósito de realizar la conversión de la información RGB en temperatura superficial en grados Celsius:

Figura N°19: Ecuación de modelo de regresión

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_m \cdot x_m$$

Fuente: Campos, 2011

La expresión final de cada modelo se muestra en la ecuación representada en la Figura n°20.

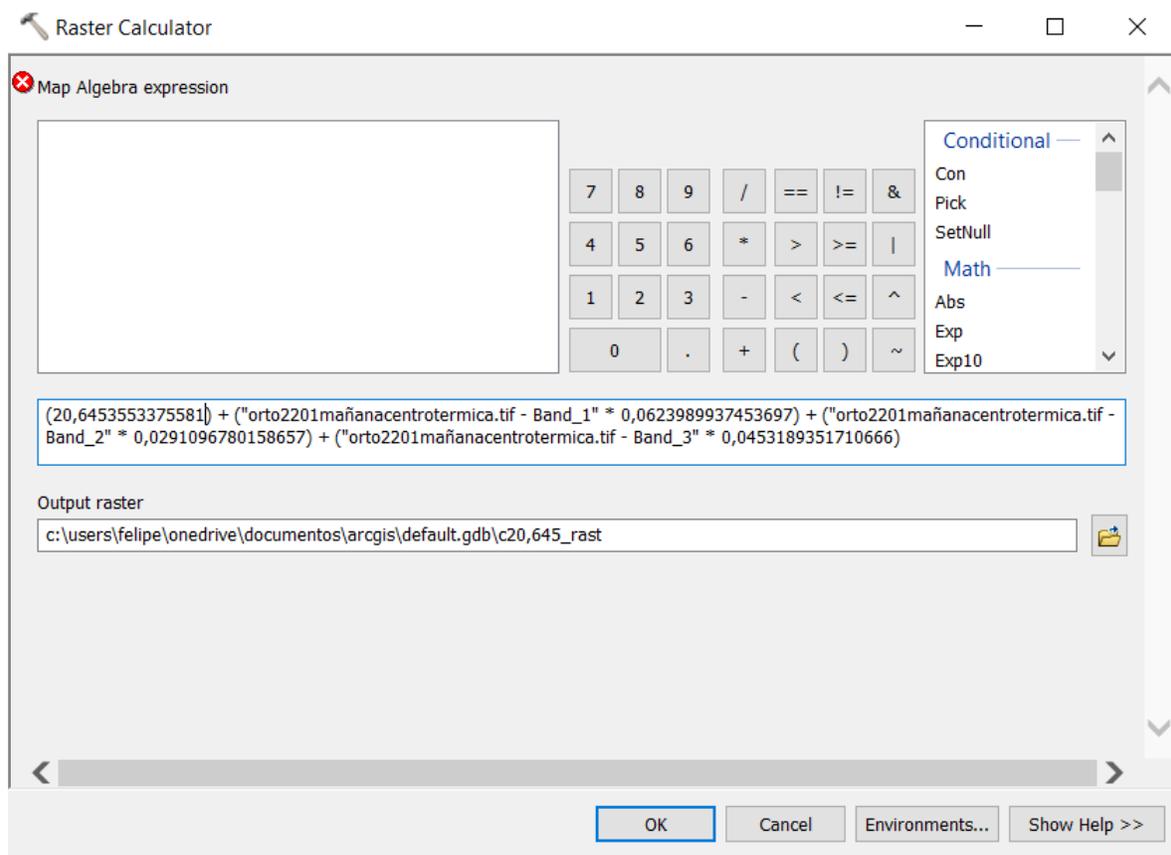
Figura N°20: Ecuación de modelo de regresión para el caso del análisis de la temperatura superficial

Coeficiente de intersección + (Banda R * coeficiente R) + (Banda G * coeficiente G) + (Banda B * coeficiente B)

Fuente: Elaboración propia, 2022

Finalmente, la información resultante del modelo se procesó en la calculadora de raster (Figura N°21) obteniendo como resultado la imagen con la temperatura superficial final en grados Celsius para cada píxel

Figura N°21 Procesamiento del modelo en calculadora de raster en ArcGIS



Fuente: Elaboración propia, 2022

3.3.2 Características del diseño urbano

En la campaña de terreno realizada en enero de 2022 no solo se realizaron vuelos de dron, este monitoreo de la temperatura es complementado con descripciones a microescala de distintas variables mediante seis puntos de observación por vuelo donde fueron registradas una serie de características del diseño urbano (Ver Anexo N°1). Las características de diseño urbano consideradas se describen en la Tabla N°4.

Tabla N°4: Variables consideradas a microescala

Variable	Descripción	Fuente de los datos
Altura de edificaciones	Número de pisos	Monitoreo en terreno/Vuelo de dron
Orientación de calles	Dirección de las calles	Monitoreo en terreno/Vuelo de dron
Tipo de construcción	Si es pareada, aislada o mixta	Monitoreo en terreno
Material de las paredes	Tipo de material usado en las paredes	Monitoreo en terreno
Color de las paredes	Color de las paredes	Monitoreo en terreno
Material de techumbres	Tipo de material usado en las techumbres	Monitoreo en terreno/Vuelo de dron
Color de techumbres	Color de las techumbres	Monitoreo en terreno/Vuelo de dron
Color/material de veredas	Color y/o material usado en las veredas	Monitoreo en terreno/Vuelo de dron
Color/material de suelo	Color y/o material usado en el suelo	Monitoreo en terreno/Vuelo de dron
Condición/tipo de vegetación	Estado y tipo de vegetación	Monitoreo en terreno

Fuente: Elaboración propia, 2022

Cabe mencionar que algunas de ellas fueron obtenidas a partir de los resultados del procesamiento de las imágenes capturadas en los vuelos de dron realizados en el área de estudio, por otro lado, existen parámetros que provienen del análisis realizado en el primer objetivo, donde se identifican condiciones materiales detalladas de techo y paredes, densidad de población y hacinamiento.

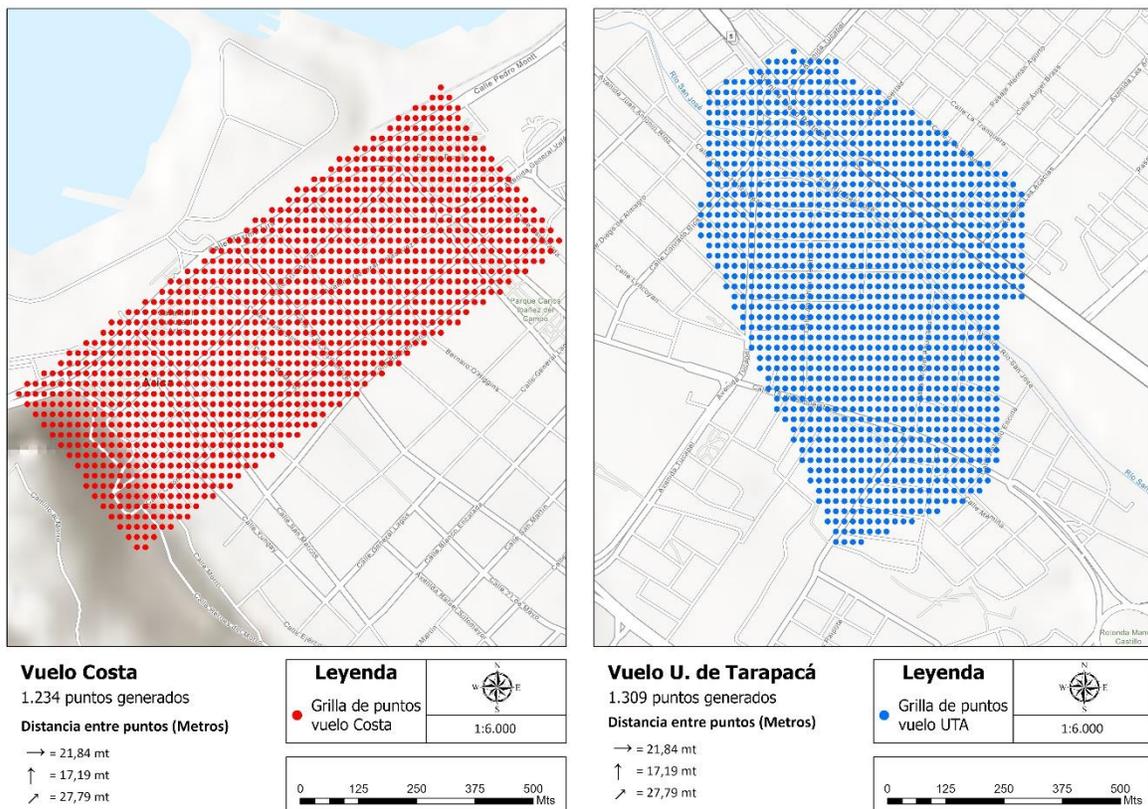
Para relacionar todas estas variables con el comportamiento de la temperatura, se definieron puntos de muestreo en cada zona, mediante la realización de una grilla de puntos y así obtener la temperatura superficial en una tabla de atributos. Para cada uno se extrajo la información de cada variable utilizando herramientas dentro de ArcGIS Pro, tales como, *Extract to value*, *raster to point*, *Feature to point*, *Extract multivalues to point*.

Este punto de la metodología tiene como principal propósito la determinación de la influencia de los parámetros morfoclimáticos en el comportamiento térmico de la

ciudad de Arica, por ello se vincularán directamente con la información levantada por el dron.

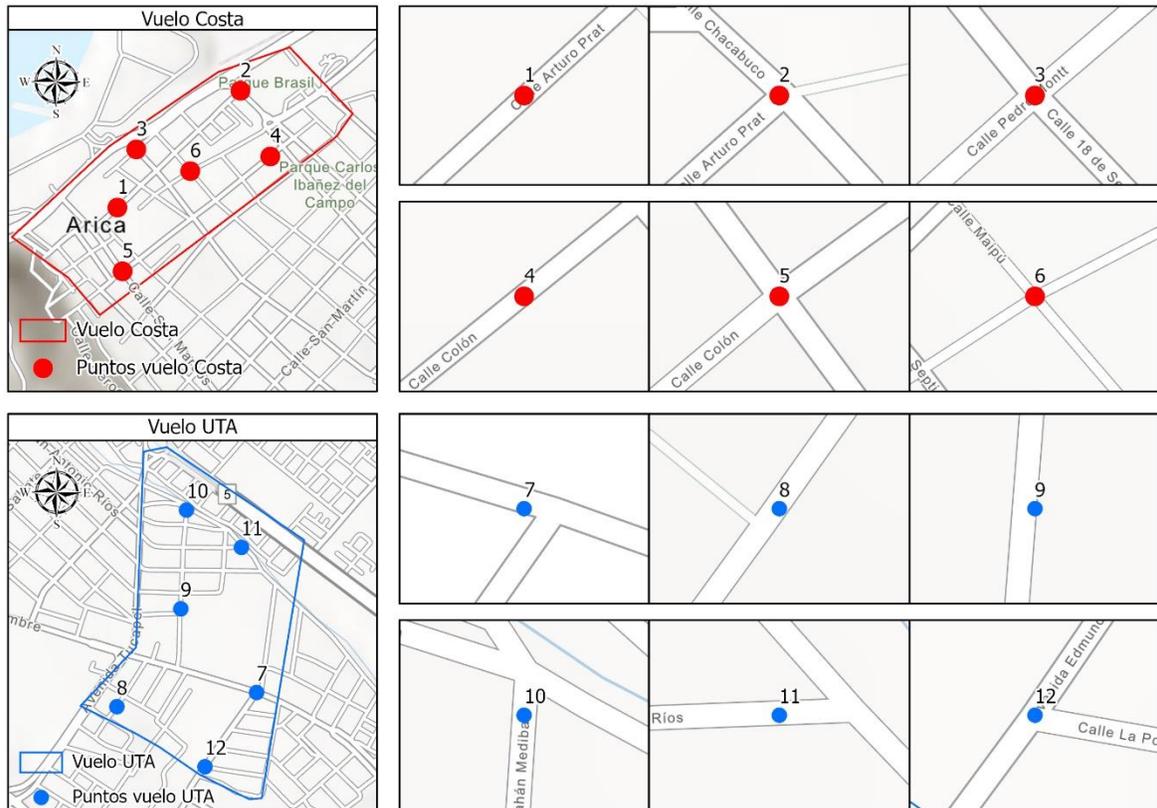
Una vez generada la matriz de puntos que contienen la temperatura (Ver Figura N°22) se relacionaron con los puntos levantados en terreno (Ver Figura N°23), con el objetivo de vincular los parámetros morfológicos con la temperatura.

Figura N°22: Grilla de puntos de ambos vuelos



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura N°23: Distribución de los puntos levantados en terreno



Fuente: Elaboración propia, 2022

3.4 Propuesta de lineamientos de planificación sensible al clima para una ciudad árida

Finalmente, el objetivo específico N°3 corresponde a una propuesta de lineamientos de planificación sensible al clima en una ciudad árida, por lo tanto, los pasos metodológicos necesarios para el cumplimiento del objetivo corresponden a la formulación de propuestas en base a estudios realizados en zonas áridas, la identificación de ejemplos en el territorio que permitan analizar potencialidades en términos de mejoras para el óptimo comportamiento de la temperatura superficial y la relación entre la temperatura superficial monitoreada con respecto a las imágenes satelitales y su relación empírica con el indicador de vulnerabilidad construido.

Capítulo 4: Resultados

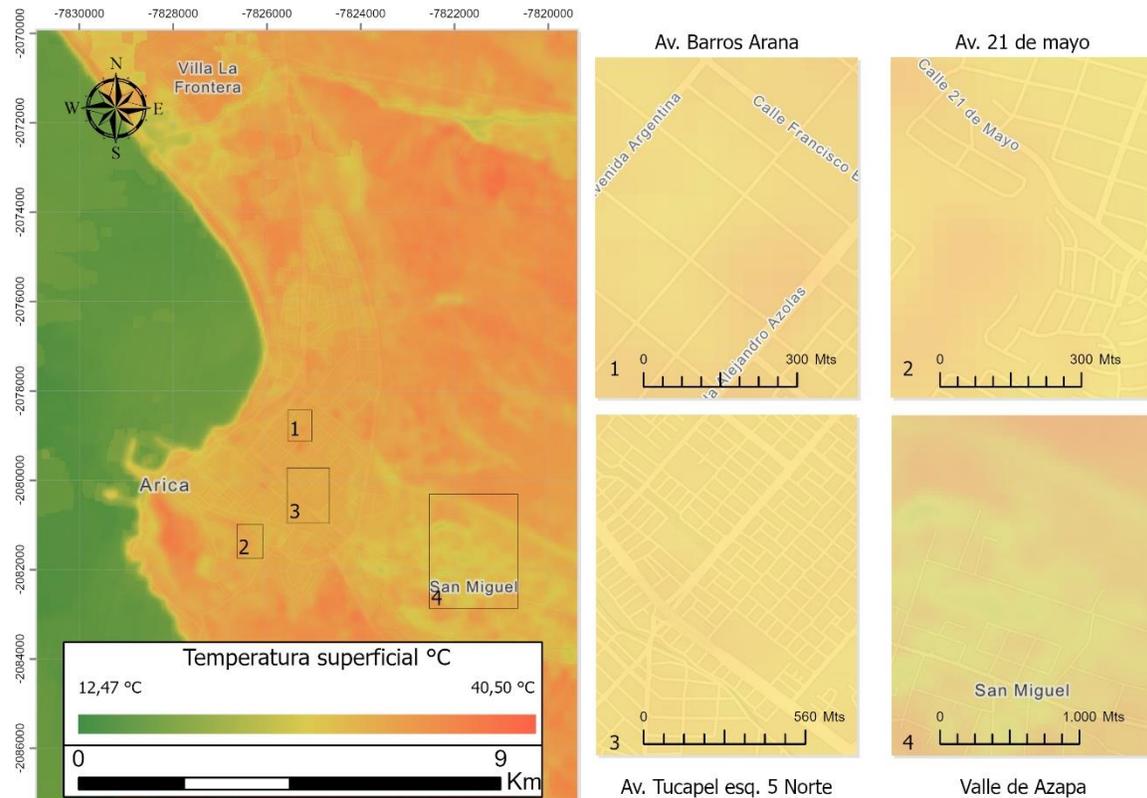
4.1.1 Comportamiento de la temperatura superficial a escala local

Las temperaturas superficiales de verano en la ciudad de Arica varían entre los 17,8°C y los 37,5°C (Ver Figura N°24). Cabe mencionar la presencia del océano pacífico, el cual, al ser un cuerpo de agua de gran extensión posee temperaturas bastante bajas en comparación a las coberturas terrestres, aquellos sectores que poseen temperaturas más elevadas corresponden a sectores principalmente desérticos a las afueras de la ciudad y al Morro de Arica ubicado en el centro.

Por otro lado, existe una gran diferencia entre la ciudad y sus entornos no construidos, donde se puede apreciar una gran amplitud térmica en todos aquellos sectores no urbanizados llegando incluso a temperaturas superiores a los 35°C, mientras que dentro de la ciudad de Arica las temperaturas tienen un comportamiento más bien homogéneo, situándose entre los 28°C y 31°C. Un ejemplo de ello son la Avenida Argentina, la Avenida Alejandro Azolas y sectores del centro de la ciudad cercanos a la costa, donde es posible encontrar temperaturas cercanas a los 30°C, por otro lado, en Avenida Las Palmas las temperaturas superan los 32°C.

Con respecto a aquellas zonas donde la temperatura es menor se pueden destacar las cercanías del río San José, aunque no es posible observar su trayecto hacia el mar de manera evidente sí presenta una leve disminución de la temperatura llegando a presentar temperaturas bajo los 30°C en gran parte del sector, sobre todo en las cercanías a la calle 18 de septiembre. Otro sector de la ciudad que presenta una gran disminución de las temperaturas superficiales corresponde a la zona sur oriente de Arica, específicamente, el tramo del valle de Azapa, el cual presenta una alta cantidad de vegetación en comparación con el resto.

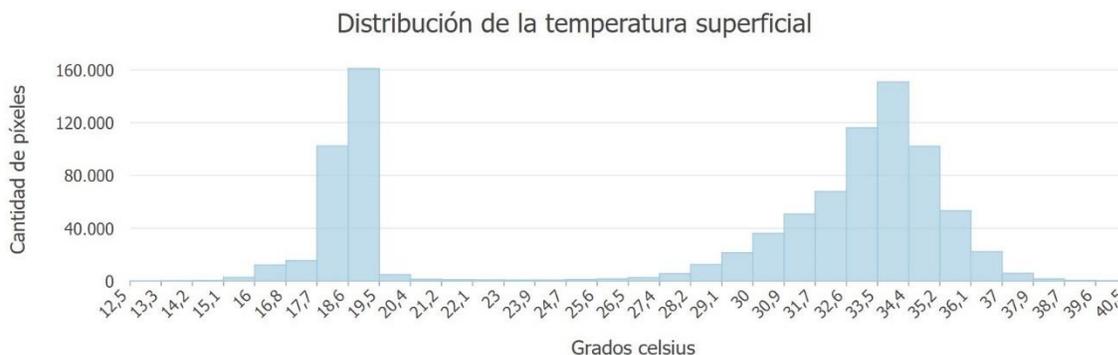
Figura N°24: Comportamiento de la temperatura superficial de Arica



Fuente: Elaboración propia, 2021

Como se observa en el histograma (Ver Figura N°25), la distribución de la temperatura va desde los 12,5°C hasta los 40,5°C. Existe una gran cantidad de píxeles situados entre los 16°C y los 20°C en el área de estudio, esto se explica porque el monitoreo que el satélite hace abarca zonas sobre las aguas del océano Pacífico, específicamente, aquellas temperaturas entre los 12°C y los 28°C aproximadamente, obteniendo datos con temperaturas bastante bajas. En la parte derecha del histograma es posible observar el comportamiento de la temperatura en la superficie terrestre, correspondiente a aquellas temperaturas entre los 27°C y 40°C, la cual presenta una distribución normal con una fuerte predominancia de temperaturas alrededor de los 34°C.

Figura N°25: Histograma de la distribución de la temperatura superficial



Fuente: Elaboración propia, 2021

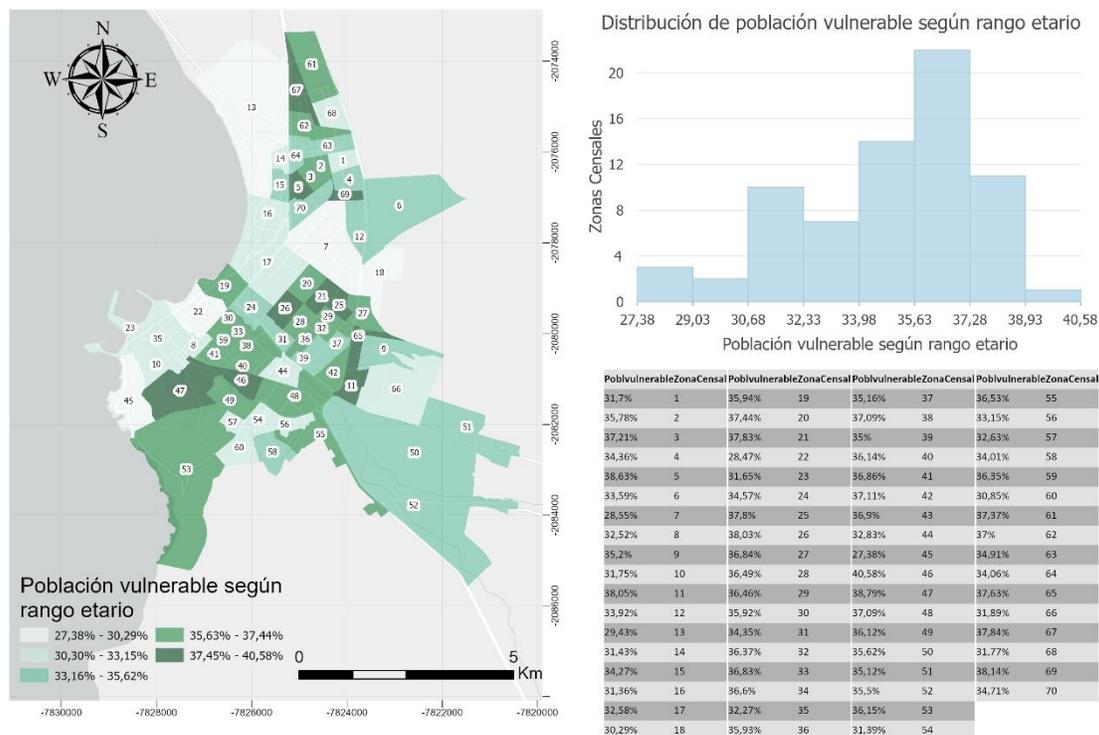
4.1.2 Condiciones socioeconómicas de la ciudad de Arica

A continuación, se presentan las variables planteadas para el análisis de las condiciones socioeconómicas de la ciudad de Arica que posteriormente permitieron construir un indicador de vulnerabilidad territorial.

4.1.2.1 Variable según rango etario

La primera variable construida corresponde a población vulnerable según rango etario, en ese sentido, la población vulnerable corresponde a personas que tengan 15 años o menos y la población mayor o igual a 65 años puesto que corresponden a los rangos etarios de mayor vulnerabilidad debido, principalmente a que no se sitúan dentro de la población económicamente activa (IPCC, 2014), lo que deriva en una mayor exposición al estrés térmico y a la demanda de calefacción. En la Figura N°26 es posible observar que el porcentaje de población en situación vulnerable respecto a la edad varía entre un 27% y un 41% de personas por zona censal, donde destaca que un 36% de personas en situación de vulnerabilidad etaria se concentra en 22 zonas censales de la ciudad de Arica. Espacialmente el comportamiento de la variable es heterogéneo, ya que no responde a concentraciones sectorizadas en la superficie de la ciudad, sin embargo, es posible observar que en la zona centro sur del área de estudio se concentran valores que superan el 30% de población por zona censal.

Figura N°26: Distribución espacial de la población vulnerable según rango etario



Fuente: Elaboración propia, 2021

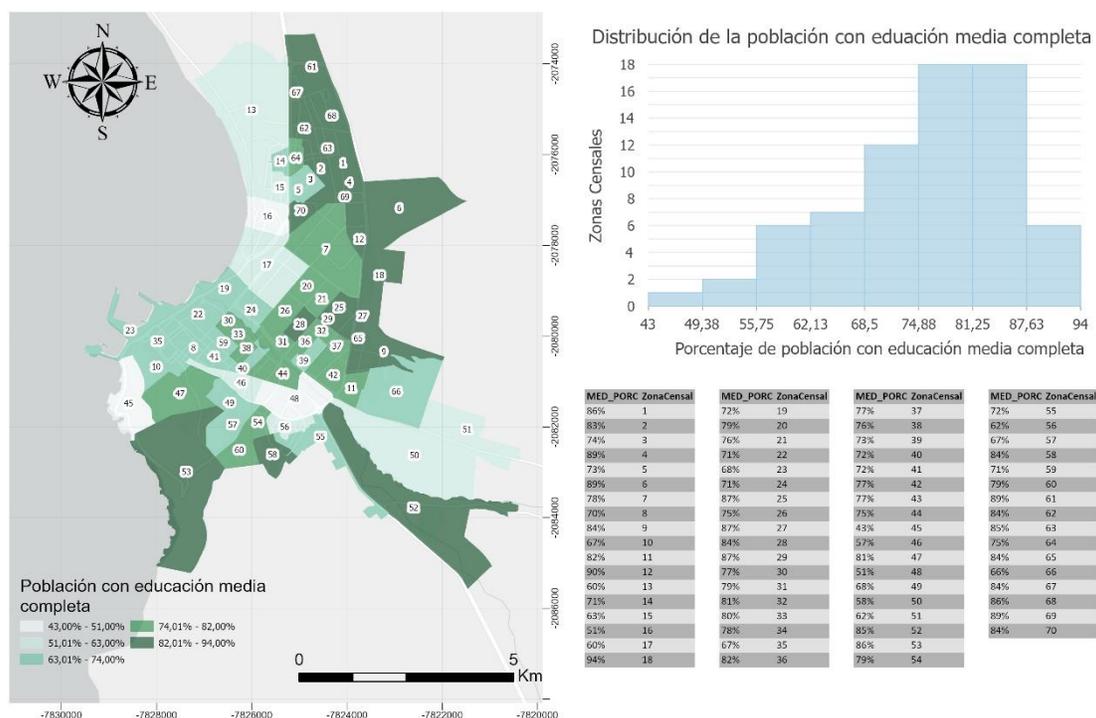
4.1.2.2 Variable de nivel de escolaridad del jefe de hogar

Una segunda variable construida corresponde a identificar los años de escolaridad del jefe de hogar, para ello se agruparon los años de escolaridad entre aquellos jefes de hogar que tenían los años correspondientes a educación media completa y a aquellos que tienen años de escolaridad correspondientes a educación superior completa. En la Figura N°27 es posible observar como se comportan aquellas familias con jefe de hogar que posee enseñanza media completa. Ante esto, es posible señalar que entre un 43% y un 94% de los hogares en la ciudad de Arica

tiene jefe de hogar con educación media completa, siendo un total de 36 zonas censales entre un 75% y un 94% de jefes de hogar con esta situación.

La disposición territorial con respecto a la población con educación media completa se observa en la Figura N°27, donde destaca una mayor presencia de jefes de hogar con educación media completa específicamente en el sector al oeste de la avenida Alcalde Santiago Araya, mientras que en el valle de Miguel de Azapa también existe una gran presencia de población estas condiciones.

Figura N°27: Distribución espacial de la población con jefes de hogar con educación media completa



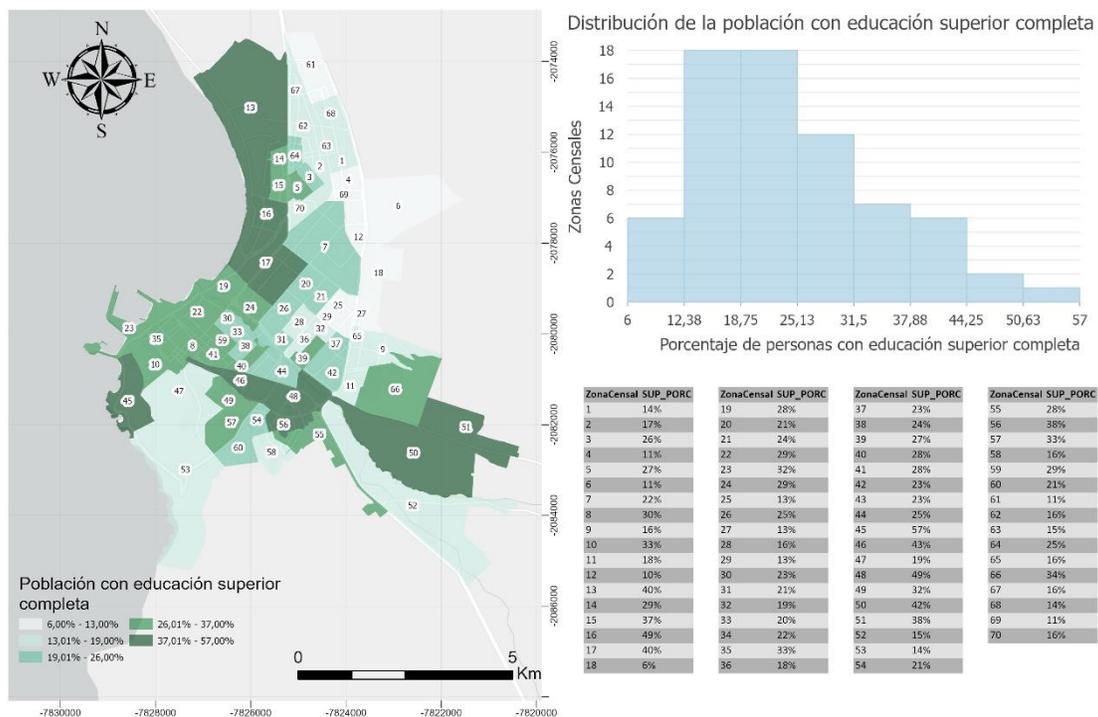
Fuente: Elaboración propia, 2021

Por otro lado, la situación es distinta en cuanto a educación superior completa se refiere, ya que los porcentajes varían entre un 6% y un 57% de jefes de hogar con educación superior completa, siendo un total de 36 zonas censales que concentran

la mayor cantidad de jefes de hogar con educación superior completa representando entre el 12% y el 25% de los casos.

Con respecto a la distribución espacial de los jefes de hogar con educación superior completa (Ver Figura N°28), estos se agrupan, principalmente, en el sector de Valle de Miguel de Azapa, concentrando porcentajes superiores al 34%, por otro lado, los altos porcentajes también se concentran entre las avenidas 18 de Septiembre y 21 de Mayo, al sur de Arica, mientras que en el norte de la ciudad existen 4 zonas censales que concentran porcentajes mayores al 40%, particularmente al oeste de la avenida Alcalde Santiago Araya. Aquellas zonas con menor porcentaje de jefes de hogar con educación superior completa se concentran en el sector nororiente del área de estudio, siendo estas las zonas al este de Avenida Las Dunas.

Figura N°28: Distribución espacial de la población con jefes de hogar con educación superior completa



Fuente: Elaboración propia, 2021

Ante esto es posible observar las diferencias que presenta la ciudad de Arica en cuanto a los niveles de escolaridad dentro de su población, la cual se concentra mayormente entre aquellos que solamente cursaron la educación media, mientras que aquellos que lograron completar la educación superior solamente alcanzan 57% del total de los jefes de hogares.

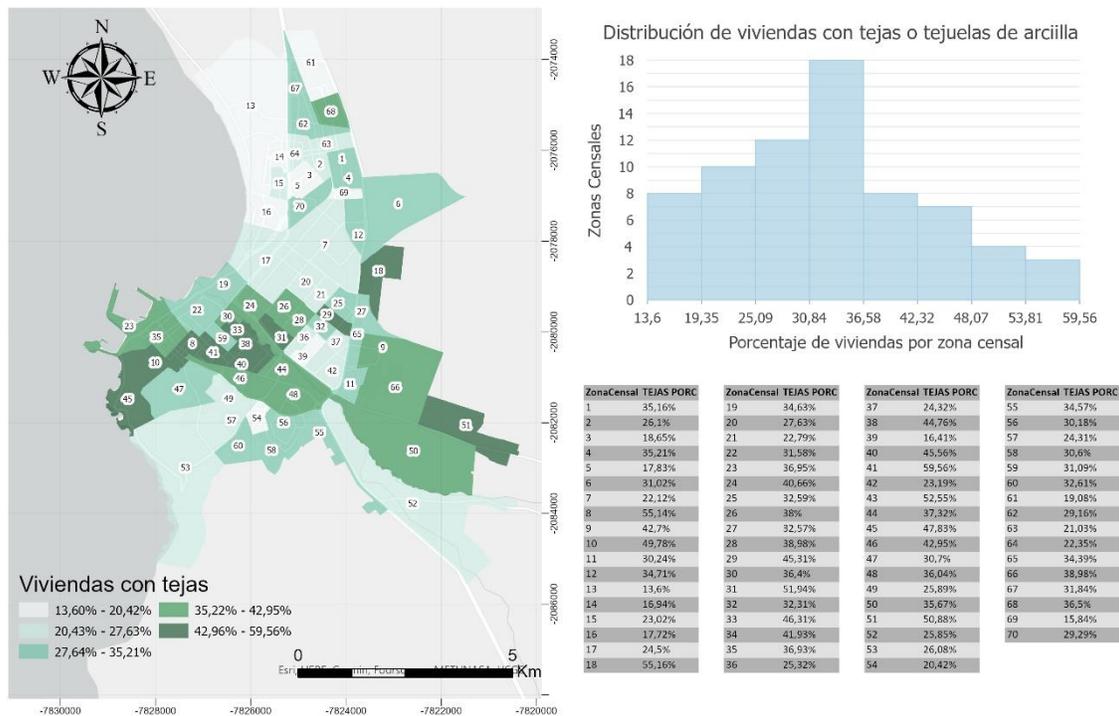
4.1.2.3 Variables de materialidad de la vivienda

Con el objetivo de construir una variable que permita identificar las diferencias materiales dentro de la ciudad de Arica, se realizó un análisis a partir de la información que el Censo entrega con respecto a los materiales de construcción de las techumbres en el área de estudio, para esta variable, existen siete opciones, dentro de las cuales se encuentran en primer lugar, tejas, o tejuelas de arcilla, metálicas, de cemento, de madera, asfálticas o plásticas, en segundo lugar, losa hormigón, también existen las techumbres de planchas metálicas de zinc, cobre, o fibrocemento (tipo pizarreño), otro tipo de material para techo corresponde a fonolita o plancha de fieltro embreado, uno de los materiales describe a aquellas viviendas con paja, coirón, totora o caña, mientras que, existen dos opciones de materialidades que corresponden a materiales precarios (lata, cartón, plásticos, etc.) y sin cobertura de techo.

Una de las materialidades que más se repite en la ciudad de Arica corresponde a aquellas que contienen tejas o tejuelas de distintos materiales, en la Figura N°29 es posible observar que la presencia de este material fluctúa entre un 13% y un 60% presentando un 30% en 18 zonas censales del área de estudio.

Al ser una de las materialidades más comunes en la ciudad, esta tiene un emplazamiento bastante uniforme en términos espaciales, en la Figura N°29 es posible observar que no existe una tendencia clara con respecto a la distribución espacial de este material, sin embargo, la zona del centro y del centro histórico conservan una buena presencia de tejas en sus techumbres llegando a un 60% de viviendas con el material señalado, mientras que en la zona norte, los porcentajes no superan el 35%.

Figura N°29: Distribución espacial de las viviendas con tejas

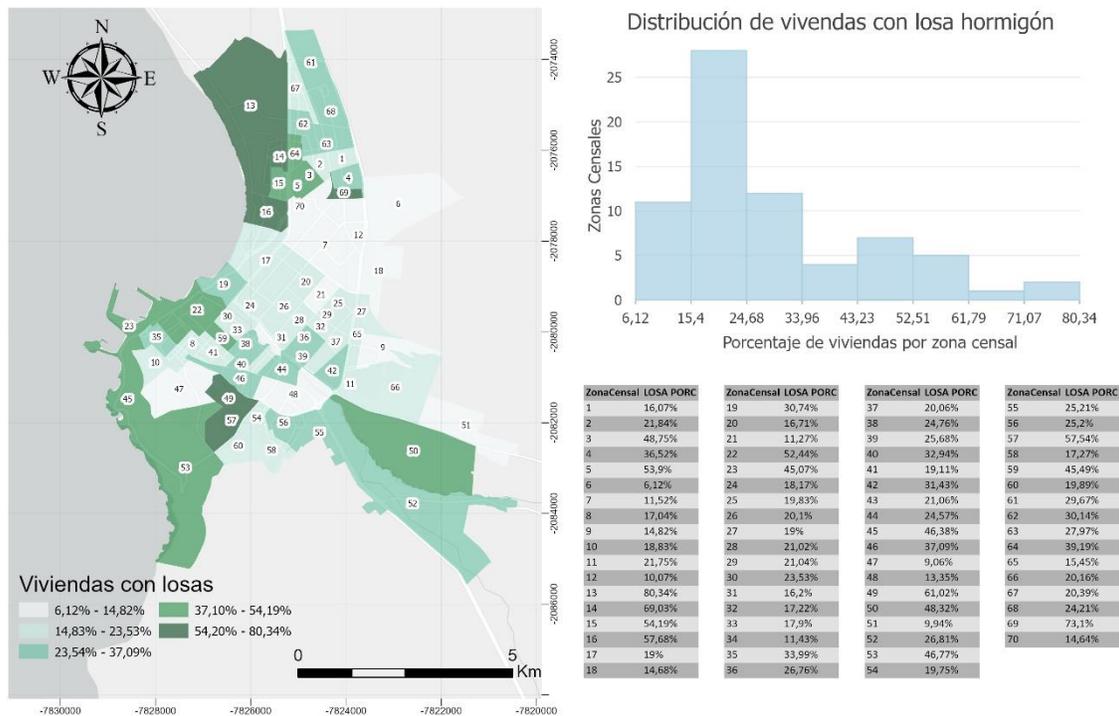


Fuente: Elaboración propia, 2021

Por otro lado, aquellas viviendas con losa hormigón en sus techos están en prácticamente toda la ciudad ya que sus porcentajes varían entre 6% y un 80%, además presentan un 15% de viviendas con losa hormigón en 28 zonas censales.

Con respecto al comportamiento territorial que tienen las viviendas con losa hormigón, estas poseen una gran presencia en la zona norte de la ciudad, específicamente en la zona norponiente donde la existencia de viviendas con este material alcanza el 80% (Ver Figura N°30), mientras que en gran parte de la ciudad no supera el 55% de las viviendas por cada zona censal.

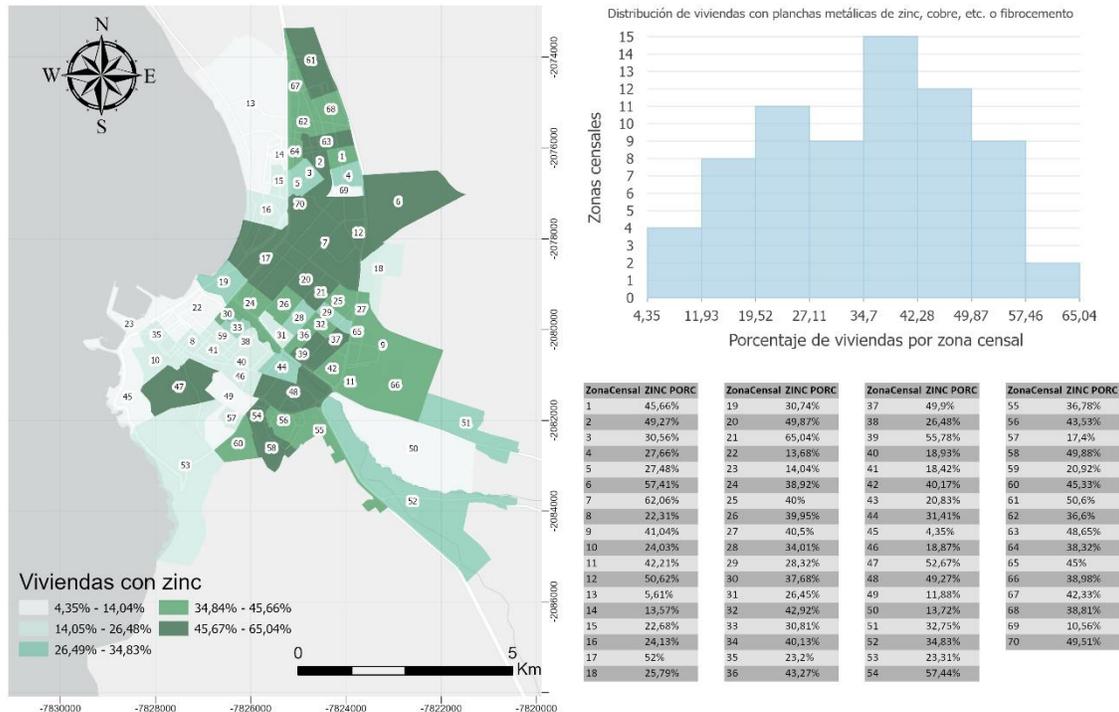
Figura N°30: Distribución espacial de las viviendas con losa hormigón



Fuente: Elaboración propia, 2021

Otra de las materialidades que más se encuentran en las techumbres de la ciudad de Arica corresponde a las planchas metálicas de zinc de tipo pizarreño, los porcentajes de esta materialidad van desde el 4% hasta el 65% presentando un 20% en 11 zonas censales, 35% en 15 zonas censales y 42% en 12 zonas censales (Ver Figura N°31).

Figura N°31: Histograma de la distribución de los porcentajes de población con planchas metálicas de zinc

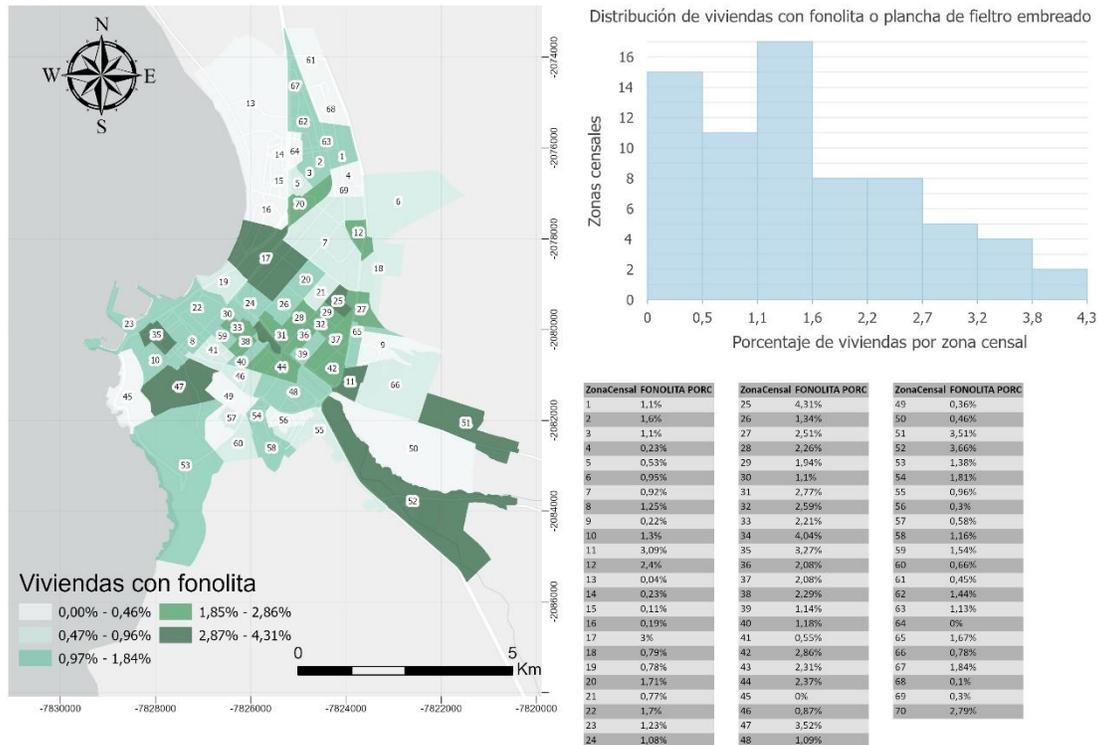


Fuente: Elaboración propia, 2021

Las planchas de zinc son un material con una alta presencia en las techumbres de las viviendas del área de estudio, a pesar de que su distribución territorial es heterogénea, se puede decir que en la zona este de Arica presenta una mayor presencia, mientras que al poniente existen muchas zonas censales donde no se supera el 15% de presencia, asimismo muchas zonas tienen alrededor de un 40% sobre todo en el centro de la ciudad.

Sin embargo, también existen otras materialidades presentes en el área de estudio que no tienen tanta presencia en Arica como lo es el caso de la fonolita, un material antiguo que cada vez es menos frecuente en las viviendas, en este caso va de un 0% a un 4,3% teniendo 15 zonas censales que no presentan viviendas con este material y solo 2 zonas censales con un máximo de 4% (Ver Figura N°32).

Figura N°32: Histograma de la distribución de los porcentajes de población con fonolita

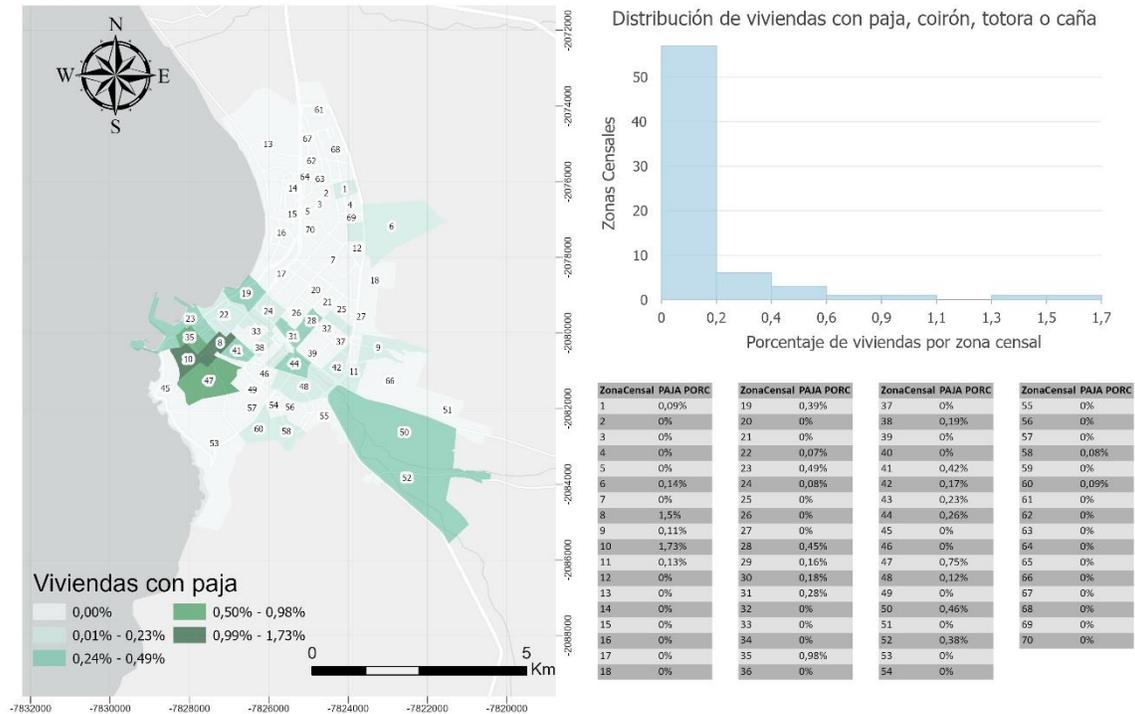


Fuente: Elaboración propia, 2021

La fonolita es uno de los materiales que menos presencia tiene en Arica, por lo tanto su distribución espacial es bastante homogénea, a pesar de eso, la Figura N°32 muestra un comportamiento más bien diverso dada la clasificación realizada, por ello es que gran parte de la ciudad presenta menos de 1% de viviendas con fonolita, mientras que aquellos sectores con mayor porcentaje corresponden a algunas zonas del Valle de Azapa y otras del centro de la ciudad, mas no superan el 5%.

Otro de los materiales que presenta una baja aparición en las techumbres del área de estudio corresponde a aquellas que poseen paja, coirón, totora o caña. La Figura N°33 muestra que la mayoría de las zonas censales, en específico, 55 de ellas posee un porcentaje nulo de viviendas con el material señalado, incluso las zonas censales que más contienen viviendas con este tipo de material no supera el 2%.

Figura N°33: Histograma de la distribución de los porcentajes de población con paja, coirón, totora o caña

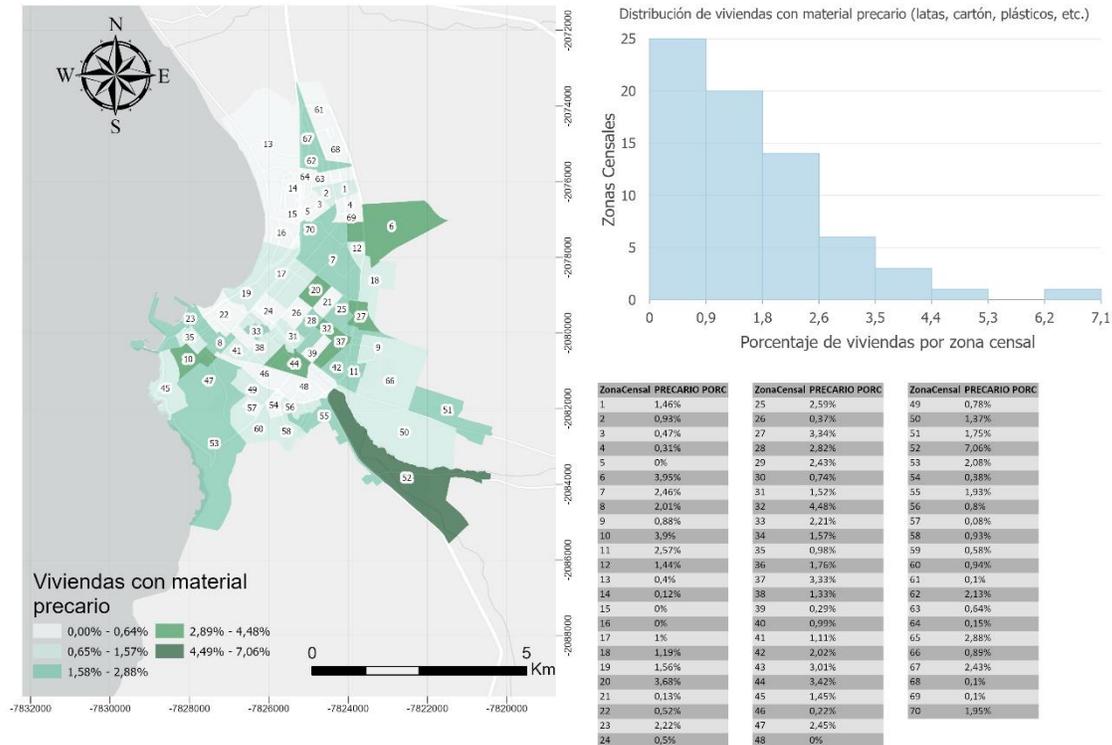


Fuente: Elaboración propia, 2021

Debido a la escasez del material, la Figura N°33 presenta una gran cantidad de zonas censales donde no existe la presencia de paja, coirón, totora o caña, sobre todo, en el sector norte de la ciudad. Uno de los puntos que más presenta este material en las techumbres corresponde al centro histórico, de todas maneras no presenta un porcentaje mayor al 2%.

En la Figura N°34 es posible observar el comportamiento de un grupo de materiales que para efectos del Censo corresponden a material precario, entre los cuales se encuentran lata, cartón, plásticos, entre otros. Ante esto, la distribución de estos materiales es mayor en comparación a paja ya que 25 zonas censales presentan una inexistencia de viviendas con materiales precarios, mientras que solo en una zona censal presenta un porcentaje mayor a 6%.

Figura N°34: Histograma de la distribución de los porcentajes de población con materiales precarios

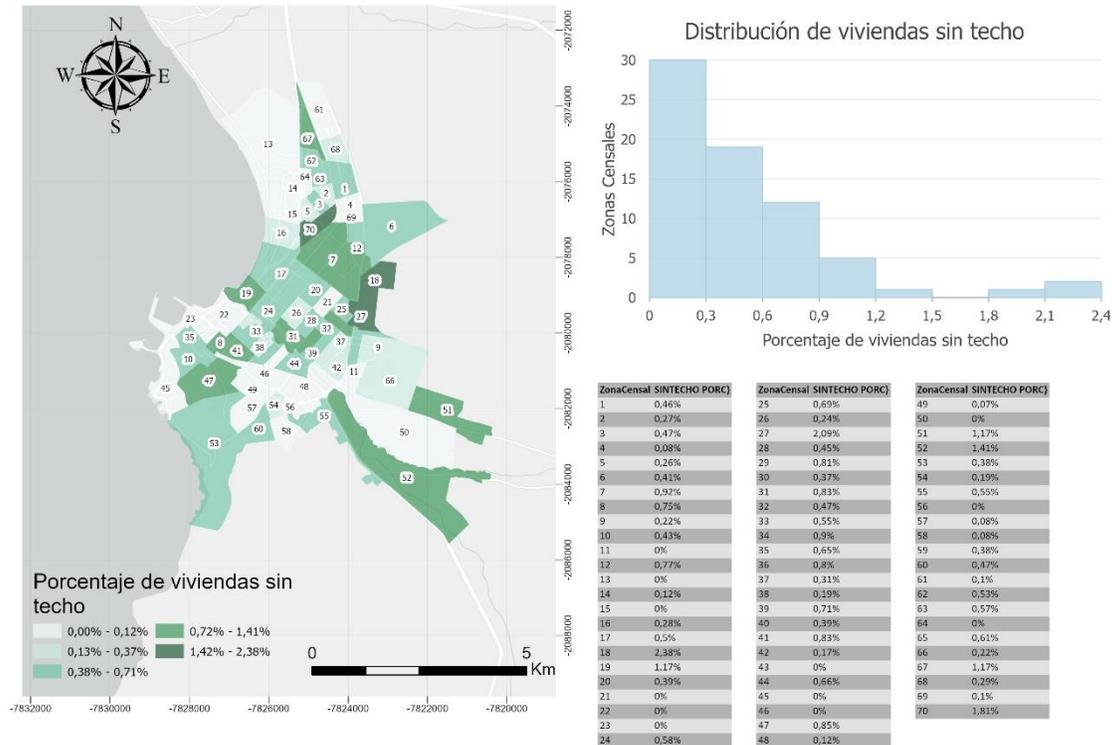


Fuente: Elaboración propia, 2021

Con respecto a la disposición de las viviendas con material precario en sus techumbres, en gran parte del área de estudio no se supera el 1% de viviendas en esa situación, sin embargo existe un sector donde supera el 5% de presencia. A pesar de no ser una cifra considerable es aquella donde más destaca este tipo de materiales, siendo esta la zona censal al sur del Valle de Miguel de Azapa.

Finalmente, la Figura N°35 muestra los porcentajes de viviendas sin cubierta sólida de techo, ante eso cabe señalar que existe una gran cantidad de zonas censales que no presentan viviendas sin cobertura sólida en sus techumbres, sin embargo, existen algunas zonas censales que presentan un 1% de viviendas en esta situación y algunas un 2%.

Figura N°35: Distribución de los porcentajes de población sin cubierta sólida de techo



Fuente: Elaboración propia, 2021

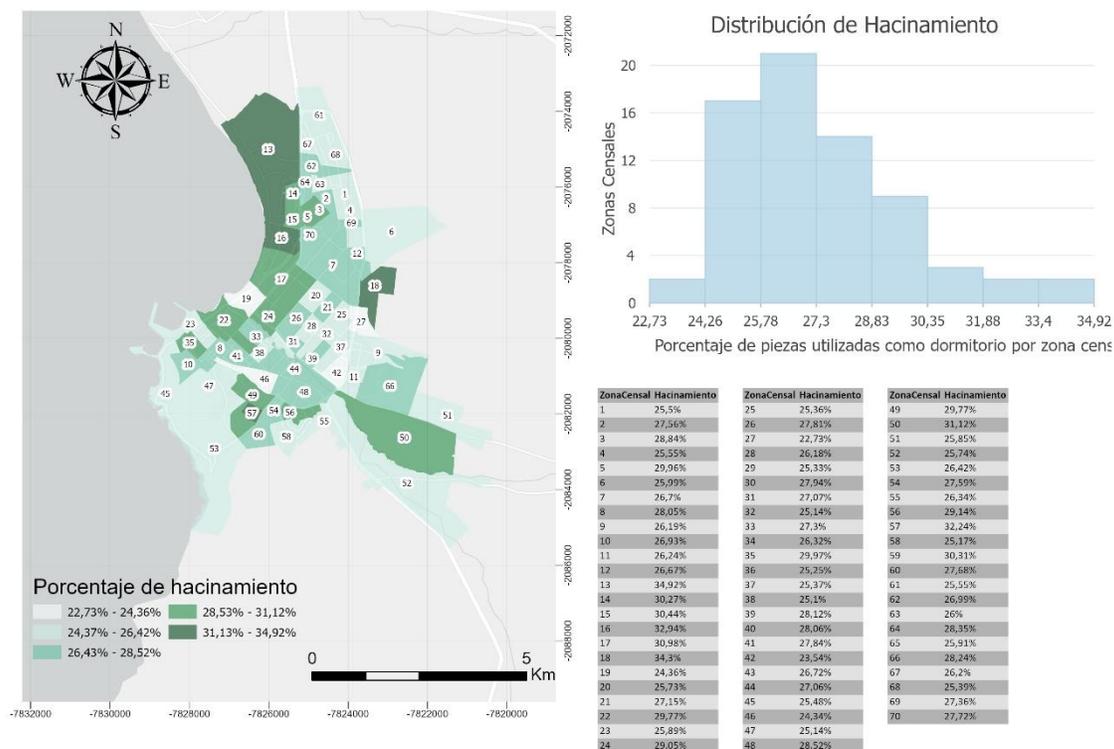
La distribución de este material en el área de estudio se concentra de manera heterogenea, dada la clasificación realizada en la Figura anterior es posible observar como gran parte de la ciudad no presenta un porcentaje mayor al 1% solamente destacando algunas zonas entre Avenida Juan Trabuco y Avenida Pedro Blanquier y al oriente de Avenida Las Palmas.

4.1.2.4 Variable de hacinamiento

Para construir la variable de hacinamiento es necesario recurrir a la pregunta del Censo de población y vivienda (2017), la cual hace referencia a la cantidad de piezas de la vivienda que son utilizadas exclusivamente como dormitorio. Ante esta pregunta existen como posibles respuestas las opciones del 1 al 6, por ello, se

realiza una división entre la cantidad total de piezas utilizadas como dormitorio por el total de personas por zona censal. Ante esto, cabe señalar que al ser un parámetro calculado en porcentaje, mientras menor sea el porcentaje mayor será el hacinamiento. En ese sentido, la Figura N°36 grafica la distribución de la variable hacinamiento, donde es posible observar que en más de 20 zonas censales existe, al menos, un 25% de piezas utilizadas como dormitorio por zona censal.

Figura N°36: Distribución del hacinamiento



Fuente: Elaboración propia, 2021

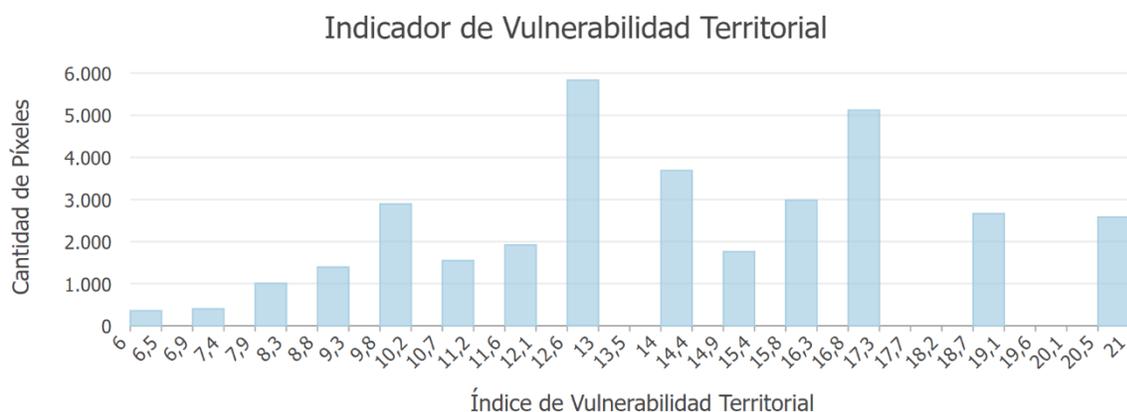
Para analizar la disposición territorial del hacinamiento es necesario remitirse a la operación matemática realizada, en ese sentido, cabe señalar que mientras menor sea el porcentaje, mayor será el hacinamiento, dicho esto se puede observar cómo existen 4 sectores donde esta variable se concentra más: en primer lugar, en la esquina de Avenida Pedro Montt con Avenida Diego Portales, con un 24%; en segundo lugar, en la zona censal alrededor de Avenida Capitán Ávalos al este de

Arica; la tercera zona censal corresponde al sector comprendido entre las Avenidas 18 de Septiembre y Avenida 21 de Mayo; y por último, entre Calle José Manuel Balmaceda y Avenida Capitán Ávalos.

4.1.3 Construcción de indicador de vulnerabilidad territorial (IVT)

En relación a lo expuesto anteriormente, la Figura N°37 muestra el gráfico de la cantidad de píxeles asignados a cada valor del indicador, lo cual entrega una muestra de cuales fueron los valores que más se repetían en el área de estudio. En ese sentido, es posible observar que el IVT se comporta de manera creciente en aquellos sectores más vulnerables, siendo el nivel más bajo el menos frecuente en el área de estudio, sin superar los 1000 píxeles. Por otro lado, el nivel 13 del IVT es aquel que más presencia tiene, aquí se puede hablar de clase media, como el nivel del indicador que más presencia tiene en la ciudad, de esta manera también es posible ubicar al nivel 17, cuya presencia es bastante alta, superando 5000 píxeles. Finalmente, aquellos niveles del IVT más altos tales como 19 y 21 tienen un comportamiento similar, puesto que ambos fluctúan entre los 2000 y 3000 píxeles.

Figura N°37: Histograma de Indicador de Vulnerabilidad Territorial



Por otro lado, la Figura N°38 indica la disposición espacial que tiene el indicador, ante esto, es posible señalar que la periferia de la ciudad posee una mejor condición tanto social como material para enfrentar al cambio climático, el estrés térmico y la isla de calor urbana, destacando el sector sur oriente de la ciudad, específicamente, la zona del valle de San Miguel de Azapa. Por otro lado, gran parte de la ciudad se

mantiene en términos medios con un valor de 13 para el indicador, el cual, como se mencionó anteriormente es el que más predomina.

Sin embargo, existen zonas con valores mucho más elevados como lo son la zona norte y centro de Arica, donde existen varias zonas censales que poseen valores muy cercanos a 20, incluso llegando al máximo valor del indicador, particularmente, en los sectores Avenida El Roble, entre Avenida Alcalde Santiago Araya y Avenida La Concepción en el norte y en la zona entre las avenidas Renato Rocca y Loa y las calles Chapiquiña y Tucapel en el centro. El centro histórico de la ciudad se mantiene uniforme dentro del valor 10 para el indicador, mientras que el sector entre Avenida Juan Antonio Ríos y 21 de Mayo mantiene niveles que fluctúan entre 9 y 11.

Figura N°38: Distribución espacial del Indicador de vulnerabilidad territorial



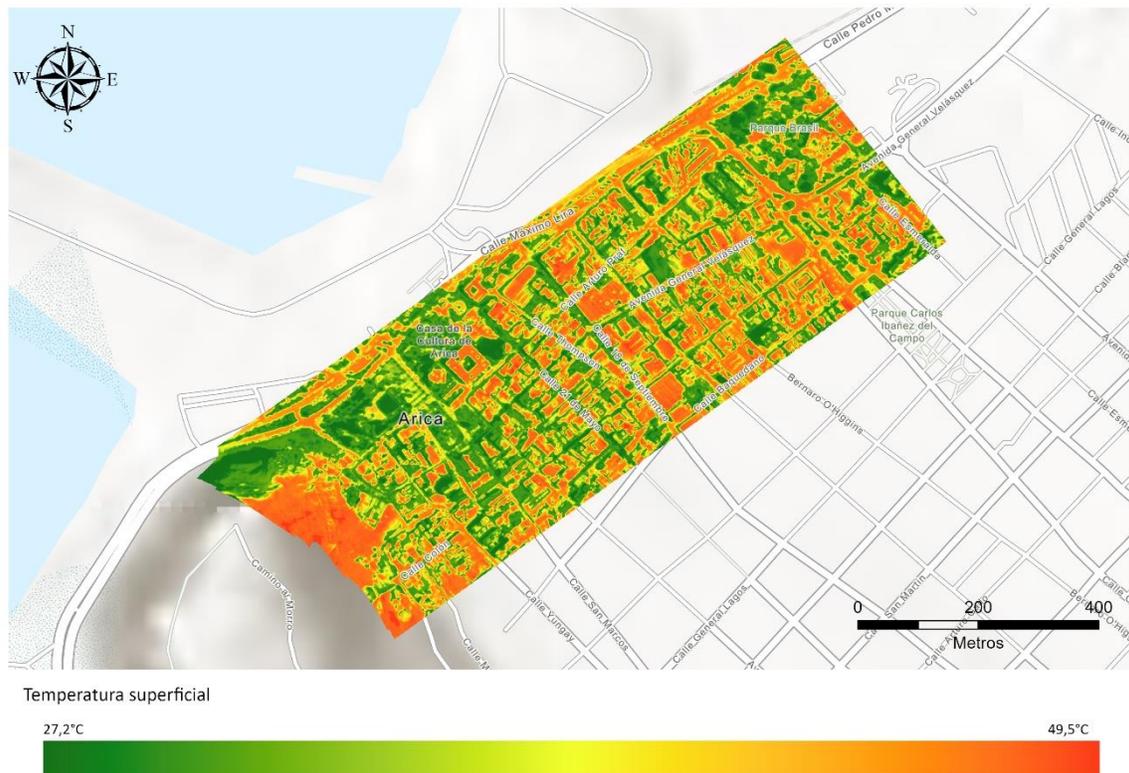
Fuente: Elaboración propia, 2021

4.2.1 Comportamiento de la temperatura a microescala

4.2.1.1 Vuelo Centro

La temperatura superficial en el sector centro histórico de la ciudad, fluctúa entre 27,2 °C y 49,5 °C, siendo este sector bastante bajo en cuanto a sus temperaturas, respecto al resto de la ciudad (Ver Figura N°39).

Figura N°39: Comportamiento de la temperatura superficial en el centro de la ciudad



Fuente: Elaboración propia, 2022

En específico, el parque Brasil, ubicado al nororiente de los límites del vuelo realizado, tiene una superficie de más de 21.000 mt², presenta una gran cobertura vegetal compuesta de pasto y arbolado correspondiente principalmente a palma chilena, por lo tanto, es posible observar de mejor manera cómo se comporta la temperatura a medida que cambian los usos de suelo y cómo afectan las coberturas vegetacionales en la disminución de los grado celcius. Por otro lado, es posible observar la gran resolución que tiene el dron puesto que es posible

identificar diferencias de temperatura a un detalle bastante grande, reconociendo aquellas zonas con y sin vegetación incluso pudiendo establecer diferencias entre la densidad de la vegetación (Ver Figura N°40).

Figura N°40: Parque Brasil



Fuente: Elaboración propia, 2022

En la imagen N°41 se pueden observar imágenes tomadas en terreno. A partir de ella, es posible describir la composición del parque Brasil, pudiendo identificar el tipo y tamaño del arbolado, la presencia de pasto y en qué medida este cubre la superficie del parque, también es posible ver la presencia de veredas y bancas, las cuales corresponden a elementos que permiten insertar esta área verde en el medio del centro histórico de la ciudad.

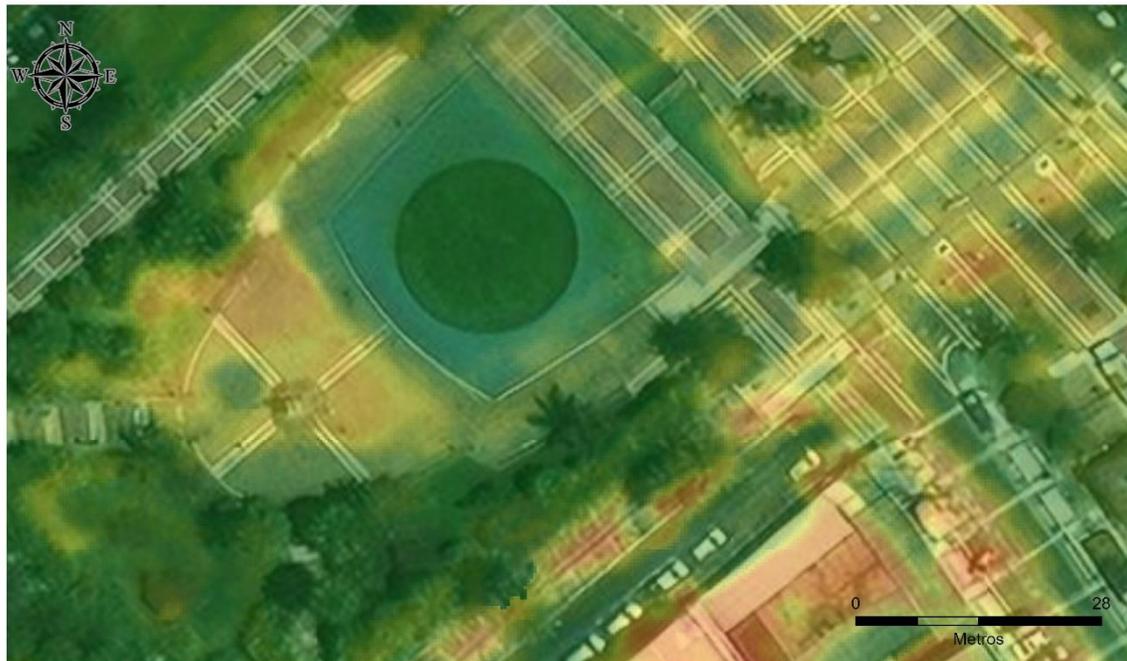
Figura N°41 Imágenes tomadas en terreno en Parque Brasil



Fuente: Elaboración propia, 2022

Por otro lado, en el sector surponiente de la superficie volada por el dron se encuentra el parque Vicuña Mackenna, el cual, al igual que el parque anterior, posee bastante vegetación, siendo de las más bajas del monitoreo, bordeando los 28°C. Sin embargo, y a diferencia del parque brasil, el parque Vicuña Mackenna no posee una cobertura de pasto tan extensa como el área verde anterior, ya que se encuentra pavimentado en una gran parte de su superficie. No obstante, en este caso se presenta una mayor presencia de temperaturas inferiores a los 30°C, incluso en practicamente toda su superficie (Ver Figura N°42).

Figura N°42: Plaza Vicuña Mackenna



Temperatura superficial

27,2°C

49,5°C

Fuente: Elaboración propia, 2022

Por otro lado, el parque Vicuña Mackenna corresponde a un parque urbano que, además de tener vegetación, posee una fuente de agua artificial, la cual funciona como espejo de agua. Como se mencionó en el párrafo anterior, este parque no posee una gran parte de su superficie cubierta de pasto, sino que se encuentra en gran parte revestida con cemento o material cerámica, la cual no corresponde a una cobertura que disminuya las temperaturas, de todas maneras esto no conlleva a un aumento considerable, a excepción de la calle General Arteaga, lugar donde se puede observar un color más rojizo en ciertos sectores, lo cual no manifiesta un alza superior a 35°C (Ver Figura N°43).

Figura N°43: Imágenes captadas en terreno. Parque Vicuña Mackenna, centro de Arica

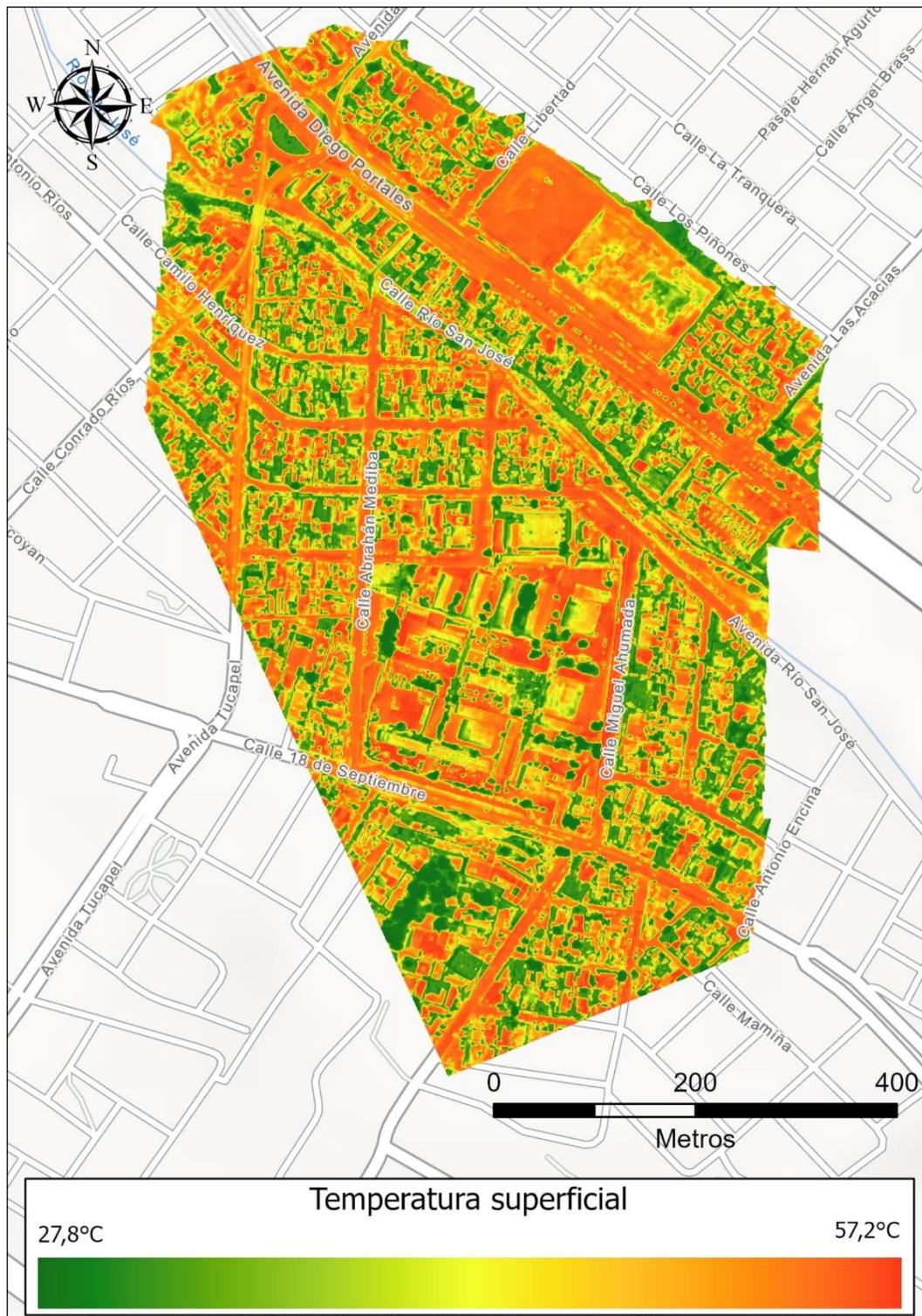


Fuente: Elaboración propia, 2022

4.2.1.2 Vuelo Universidad de Tarapacá (UTA)

Otro de los vuelos realizados en la campaña de terreno corresponde a las zonas aledañas a la Universidad de Tarapacá, en el sector ubicado entre ruta 5 norte y 18 de septiembre a la altura de avenida Tucapel y calle Antonio Encina, si bien las temperaturas mínimas se mantienen rondando los 28°C, es en sus temperaturas mayores donde esta zona de la ciudad se diferencia de la anterior, superando la barrera de los 55°C, llegando a 57,2°C (Ver Figura N°44).

Figura N°44: Comportamiento de la temperatura superficial Vuelo UTA



Fuente: Elaboración propia, 2022

Uno de los sectores del vuelo con mayor temperatura corresponde al Liceo Politécnico A-2, ya que una de sus azoteas en el centro del establecimiento, cuyo material corresponde a hormigón antiguo de color marrón oscuro, presenta temperaturas cercanas a los 50°C, como se puede observar en la Figura N°45.

Figura N°45: Liceo Politécnico A-2



Fuente: Elaboración propia, 2022

En comparación, uno de los lugares con menor temperatura de este vuelo corresponde a un sector del campus Saucache de la Universidad de Tarapacá, el cual se encuentra muy densamente poblado con árboles, obteniendo así temperaturas similares a los 30°C. Cabe mencionar que a la cobertura vegetal de esta universidad se le suma la sombra de uno de los edificios del campus (Ver Figura N° 46).

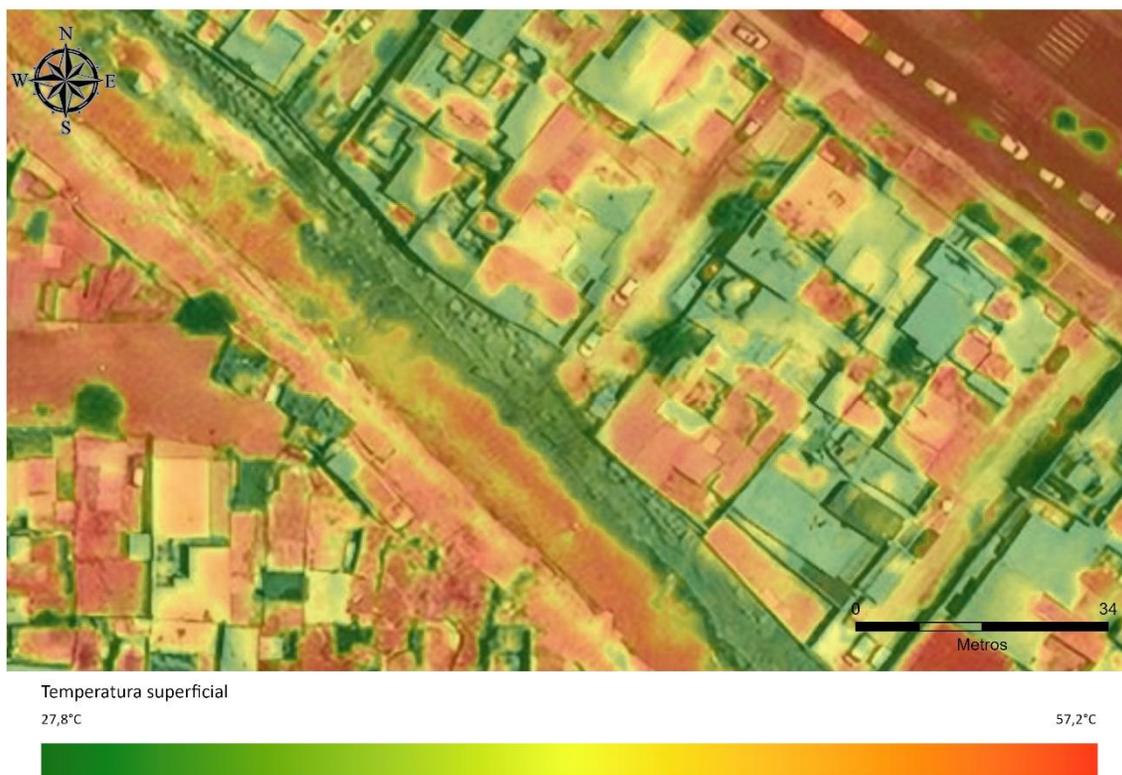
Figura N°46: Campus Saucache – Universidad de Tarapacá



Fuente: Elaboración propia, 2022

Finalmente, otro de los lugares llamativos del vuelo en cuanto a su temperatura corresponde al río San José, el cual aporta con una baja de temperatura bastante considerable, rondando los 30°C (Ver Figura N°47).

Figura N°47: Río San José



Fuente: Elaboración propia, 2022

4.2.2 Variables morfológicas a microescala

A continuación, se presentan las descripciones realizadas en terreno para los 12 puntos en total. En primer lugar, los primeros 6 corresponden al vuelo en la costa (Ver Figura N°48), mientras que los 6 restantes al vuelo en la UTA (Ver Figura N°49), la obtención de la temperatura se realizó mediante la grilla de puntos realizada (Ver Figura N°22).

Figura N°48: Relación entre variables morfológicas y temperatura superficial a microescala en vuelo de la costa



Id	Numdepisos	orientacio	construcc	matparedes	colorpared	mattecho	Colortecho	Colmatver	Colmatsuel	tipovegeta	MEAN
1	4	Noreste	Pareada	Hormigón	Verde oscuro	Tejas, Hormigón	Celeste	Amarillo	Pavimento	Sin vegetación	29,39°C
2	4	Noroeste	Mixta	Hormigón	Blanco	NoData	NoData	Gris	Asfalto, pasto	Palmas, pasto	35,14°C
3	2	Noroeste	Pareada	Hormigón, reja, ladrillo, lata	Café	Zinc	Óxido	Azul, rojo	Pavimento	Pasto, docas, pino	28,94°C
4	2	Noreste	Pareada	Hormigón, ladrillo, lata	Gris	NoData	Blanco	Azu, rojo	Pavimento	Vegetación urbana	31,22°C
5	3	Noreste, Noroeste	Pareada	Reja, cholguán, precarios	Azul, blanco	NoData	Blanco	Gris	Pavimento	Sin vegetación	39°C
6	2	Noreste, Noroeste	Pareada	Lata, hormigón	Amarillo, verde, blanco, murales	NoData	Blanco	Azul, rojo	Pavimento	Vegetación urbana	34,33°C

Fuente: Elaboración propia, 2022

La descripción de los encabezados de columna se encuentra disponibles en el Anexo N°2, cabe mencionar que para los puntos 5 y 6 se asignaron dos orientaciones ya que se consideraron la de ambas intersecciones y para los puntos 2, 4, 5 y 6 no fue posible reconocer el material de las techumbres, mientras que en el caso del punto 2, tampoco fue posible reconocer el color de techumbres, puesto que, en su mayoría, corresponde a coberturas vegetacionales.

Para el caso de los puntos de levantamiento de información en el vuelo de la Universidad de Tarapacá, en la Figura N°49 se describe la distribución y la tabla con el detalle de cada variable para los 6 puntos restantes y el comportamiento térmico de microescala.

Figura N°49: Relación entre variables morfológicas y temperatura superficial a microescala en vuelo de la UTA



Id	Nrodepisos	orientacio	construcci	matparedes	Colorpared	Mattecho	Colortecho	Colmatver	Colmatsue	Tipovegeta	MEAN
7	3	Este a oeste	Mixta	Rejas, hormigón	Gris, blanco, negro	Zinc, tejas	Burdeo	Gris	Verde, gris, negro	Pimiento, pasto	46,342575
8	1	Noreste	Mixta	Rejas, panderetas, hormigón	Café, amarillo	Zinc, tejas	Gris	Gris	Verde, gris	Pasto, palmas	57,277035
9	1	Noreste	Mixta	Rejas, hormigón	Rojo, amarillo, blanco	Zinc	Blanco	Gris	Gris	Pimiento	46,294968
10	1	Noreste	Pareada	Hormigón, ladrillo	Gris, blanco	Zinc, plástico	Gris	Gris	Gris	Palmas	33,037926
11	1	Este	Pareada	Precarios	Café	Zinc, material precario	Blanco	Sin vereda	Suelo desnudo	Sin vegetación	42,41713
12	5	Noreste	Mixta	Hormigón	Gris, naranja	Zinc, tejas	Gris	Gris	Suelo desnudo	Palmas	57,277035

Fuente: Elaboración propia, 2022

En primer lugar, al igual que en el vuelo anterior, la descripción de los encabezados de columna se encuentra en el Anexo N°2. Con respecto a las características del diseño urbano levantadas en terreno, destacan el punto 8 y 12 los cuales quedan fuera de la conversión de temperatura del dron, por lo que sus resultados no son correctos, esto sucede porque al convertir la temperatura a grados Celsius las superficies de vuelo tienden a disminuir, por lo que las temperaturas de ambos puntos no corresponden a la realidad. De igual forma, cabe mencionar que, de igual forma compartían muchas características en común, tales como la orientación de calles, el tipo de construcción, el material y color de las techumbres, y las veredas.

4.3 Propuesta de lineamientos de planificación sensible al clima para una ciudad árida-costera.

La propuesta de lineamientos de planificación sensible al clima para una ciudad árida-costera consiste en una serie de planes de diseño urbano que tienen por objetivo mitigar y/o aprovechar los efectos que pueda tener la isla de calor, además de mitigar los efectos del aumento de las temperaturas, mientras que, por otro lado, pretende la optimización de los recursos morfoclimáticos presentes en la ciudad de Arica para un mejor desarrollo futuro.

4.3.1 Propuestas de lineamientos en base a casos de estudio en ciudades áridas

En la Tabla N°5 se presentan las propuestas de lineamientos de planificación sensible al clima en ciudades áridas. Dado el enfoque de la investigación, el concepto de ciudad costera no será tomado en cuenta puesto que la mayoría de las investigaciones solo relacionan la cercanía al mar para la prevención de eventos relacionados al aumento del nivel del mar, tales como marejadas y/o tsunamis. Dichas medidas pueden ser consideradas en investigaciones posteriores.

Tabla N°5: Propuestas de lineamientos de planificación sensible al clima para ciudades áridas

Factor	Ciudad	Medidas consideradas	Posibles aplicaciones en el área de estudio	Fuentes
Materialidad y propiedades térmicas de las superficies	Tampico , Mendoza	Evaluar las materialidades de las superficies, conservar espejos de agua, evitar grandes concentraciones de asfalto.	En el caso de la ciudad de Arica se podría evaluar la antigüedad de los materiales puesto que existen morfologías antiguas que presentan oxidación, sobre todo en techumbres y que aumentan la temperatura superficial. Por otro lado, se debe potenciar la presencia del río San José como cuerpo de agua, el cual se entiende como un agente refrescante de la temperatura y desmotivar la implementación de grandes explanadas de asfalto (Ver anexo 1 y 2 o Figura)	Evans & De Schiller, 2005; Correa et al, 2006; Alchapar , 2012
Colores de las superficies	Copiapó	Potenciar el uso de colores más claros o cercanos al blanco para aumentar el albedo.	En el caso de la ciudad de Arica, tanto techumbres, como veredas y calles presentan colores de tipo gris, a pesar de que esos colores grises tienden a ser claros, muy pocas veces existen superficies con colores cercanos al blanco, sin embargo, en el centro histórico existen más superficies con techumbres de color blanco y veredas con colores claros y son instancias que se debiesen replicar en más zonas de la ciudad.	Gómez, 2014
Forestación urbana y manejo de áreas verdes	Mendoza	Promover el arbolado urbano, conservar zonas de vegetación urbana, promover el uso de vegetación en predios particulares, estudiar por separado las especies adaptadas a los suelos, aprovechar las potencialidades higrotérmicas.	En el caso de la ciudad de Arica se podría promover la conservación de las coberturas vegetacionales existentes y fomentar la intervención de nuevas áreas verdes sin perjuicio de un mal manejo del recurso hídrico y, en la medida de lo posible utilizar especies nativas. Por otro lado, potenciar aquellas iniciativas que emanan desde la sociedad civil y que intervienen el territorio generando espacios de áreas verdes sin impermeabilizar los usos de suelo.	Kurban, 2002; Evans & De Schiller, 2005
Morfologías urbanas		Dar relevancia a la trama azimutal, tanto para mitigar como para aprovechar los	En el caso de la ciudad de Arica existen anchas avenidas que no permiten la formación de cañones urbanos y una mejor circulación de viento, sin embargo, en el centro	Castro et al, 2017

		efectos de la ICU. Vincular superficie y volumen construido con ancho de calles (H/W), vincular forestación con estudio del confort térmico.	histórico existe la presencia de calles con fachada continua de 2 pisos de altura, la cual puede llegar a ser considerada una morfología potenciadora de flujos de viento.	
Azoteas	Mexicali	Elaborar estrategias de aumento de albedo y emitancia térmica en azoteas, elaborar estrategias de forestación de azoteas para aumento de sombra, disminución de la temperatura y reducir la carga térmica de la edificación.	En el caso de la ciudad de Arica es poco el trabajo que se puede hacer en cuanto a azoteas puesto que no existe una gran verticalidad en cuanto a su demanda de vivienda, por lo que la presencia de edificios de departamento no es mucha, no obstante, en aquellas azoteas que si prevalecen sería ideal poder aumentar su albedo mediante un cambio en su color o una forestación de estas.	Villanueva-Solis et al, 2013

Fuente: Elaboración propia a partir de recopilación de casos de estudio, 2022

Asimismo, el Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS, 2014) generó una propuesta de adaptación urbana al cambio climático para capitales regionales de Chile, para el caso de la ciudad de Arica se propusieron una serie de medidas en distintos aspectos, tales como: vulnerabilidad, recursos críticos – agua, energía, residuos, planificación/institucionalidad e infraestructura/usos de suelo y se pueden observar en la Tabla N°6.

Tabla N°6: Medidas para la ciudad de Arica

Vulnerabilidad
3. Realizar análisis de vulnerabilidad y capacidad de adaptación de la ciudad frente al cambio climático
9. Considerar los riesgos por inundación, olas de calor, tormentas intensas, vientos fuertes y otros efectos del cambio climático en la construcción y en el desarrollo de normas
10. Generación de reservorios para agua de lluvia – uso durante época de sequía y extremos calor
Recursos Críticos – Agua, Energía, Residuos
12. Concienciación pública sobre la optimización de consumo de agua potable doméstico
13. Programas para el tratamiento y el re-uso de aguas grises y la implementación de tales sistemas en nuevas áreas residenciales
14. Diversificación de las fuentes de energía para el suministro energético (ERNC)
Planificación/Institucionalidad
21. Manejo y creación de áreas verdes urbanos a través de participación ciudadana
25. Programas de capacitación para funcionarios públicos para la gestión climática
27. Generación de Asociaciones Públicos-Privadas de cooperación y acción frente al cambio climático (municipalidades, empresas, gobiernos regionales, sociedad civil, academia)
Infraestructura/Uso de Suelo
32. Planificación del uso de suelo (incluyendo borde costero) e infraestructura crítica según los riesgos e impactos esperados del cambio climático
34. Canalización, drenaje, parques inundables, y/o otras medidas para mitigar e minimizar el riesgo de inundación (Sistemas Urbanos de Drenaje Sustentable – SUDS)
35. Programa para la Implementación de Techos Ecológicos

Fuente: CEDEUS, 2014

En este sentido, destacan las medidas Nro. 10, 12 y 13 en el marco del uso de los recursos críticos, en especial el agua, donde la concienciación pública sobre la optimización de consumo de agua potable doméstico, los programas para el tratamiento y reúso de aguas grises y su implementación en nuevas unidades habitacionales pueden ser de gran ayuda para optimizar y aprovechar el recurso que en contexto de ciudad árida puede ser escaso.

En términos de planificación e institucionalidad destacan las medidas 21, 25 y 27 ya que tanto el manejo, como la creación de áreas verdes deben otorgar grados de incidencia a la participación ciudadana, por lo que los funcionarios públicos deben estar capacitados. Conocer las principales herramientas de mitigación para la gestión climática y poder vincular el aparato público con el mundo privado en términos de cooperación y acción frente al cambio climático son medidas útiles para la planificación sensible al clima.

Con respecto a la vulnerabilidad, cabe destacar la iniciativa Nro. 3, la cual postula realizar un análisis de vulnerabilidad y capacidad de adaptación del tejido urbano frente al cambio climático, sin embargo, el texto no especifica la frecuencia de estos análisis. Por otro lado, la generación de reservorios de agua de lluvia es bastante atingente a la ciudad puesto que las lluvias no son frecuentes y puede ser una instancia de recolección de agua importante para poder conservar las áreas verdes presentes en la ciudad de manera más sustentable.

Con respecto a las medidas sobre los riesgos por inundación, tormentas intensas y vientos fuertes, si bien son necesarios no conciernen el principal objetivo de la presente investigación. No obstante, no se descarta que puedan ser aspectos tomados en cuenta para futuros estudios de los climas urbanos y de la planificación urbana sensible al clima.

4.3.2 Identificación de zonas potenciales de mejoras en términos de planificación sensible al clima

En el presente apartado se da cuenta de algunos sectores de la ciudad que presentan contextos interesantes de analizar en términos de oportunidades de mejora y aspectos perfectibles en términos de planificación sensible al clima, en algunos casos dándole énfasis al entorno árido del área de estudio.

Figura N°50: Análisis temporal en el sector de Av. Morro



Fuente: Google Earth, 2022 y Elaboración propia, 2022

En la Figura N°50 es posible observar el sector de Av. Morro con una diferencia de 10 años, asimismo se advierte un cambio en términos de remodelación urbana. Si bien es cierto, para el año 2012, la vereda norte de la calle correspondía a un sitio eriazo, donde abundaba la presencia de basura y escombros, la cobertura de suelo era permeable, permitiendo la infiltración y potenciando el balance de térmico para la mitigación de la isla de calor. Por otro lado, en términos de remodelación y ornato se instalaron luminarias, bancas y veredas en buen estado, sin embargo, no se potenciaron aquellos aspectos morfoclimáticos que ayudan a disminuir los efectos de la isla de calor y el estrés térmico.

Figura N°51: Análisis temporal de Av. Chacabuco



Fuente: Google Earth, 2022 y Elaboración propia, 2022

En la Figura N°51 es posible observar el sector de Av. Chacabuco frente al Parque Brasil, en la imagen es posible observar cómo ha evolucionado un área verde compuesta, principalmente, por palmas y especies arbustivas, la cual tiene un crecimiento considerable en los últimos años, pudiendo aportar en términos de sombra y frescor. Por otro lado, en los últimos años se instaló una reja en el perímetro de la cobertura, lo que, no solo es una estrategia de mitigación de accidentes de tránsito, sino que también se puede interpretar como una

segmentación y consolidación de esta área verde lo que puede derivar en una mejor mantención de la vegetación.

Figura N°52: Análisis temporal de Av. Cristóbal Colón esq. Av. San Marcos



Fuente: Google Earth, 2022 y Elaboración propia, 2022

En el centro de Arica existen algunas construcciones abandonadas o inconclusas en sus terminaciones, sin embargo, un compromiso por finalizar estas construcciones puede significar la creación de cañones urbanos y así permitir un mayor flujo de vientos, sobre todo si se considera la cercanía con el mar, puede significar un beneficio en términos de estrés térmico. No obstante, es necesario que estas iniciativas vinculen colores y materiales óptimos para el balance energético, potenciando, por ejemplo, el albedo y las coberturas permeables.

Figura N°53: Análisis temporal Av. Cristóbal Colón



Fuente: Google Earth, 2012 y Elaboración propia, 2022

En la Figura N°53 se puede observar otra instancia de renovación urbana, la cual corresponde a la Av. Cristóbal Colón, donde una cobertura de cemento tipo adoquín, la cual corresponde a una superficie impermeable, fue intervenida, al igual que el ejemplo de la Figura N°50, con una serie de especies arbóreas, bancas y luminarias, sin embargo, a pesar de que en este caso la presencia de las especies es más abundante y frecuente y para este caso corresponden a ficus y benjamina (Arica Hoy, 2016) las cuales no corresponden a especies nativas, por lo que solo responden a la intención de ornamentar el centro histórico de la ciudad (Ilustre Municipalidad de Arica, Ordenanza N°06 de 2016).

Figura N°54: Análisis temporal Av. Daniel Copaja



Fuente: Google Earth, 2022 y Elaboración propia, 2022

Tanto la Figura N°54 y N°55 corresponden a iniciativas por parte de la sociedad civil, cuya mantención depende en su mayoría de materiales reciclados. Por otro lado, estas ideas no impermeabilizan las coberturas de suelo, potenciando la infiltración y la mitigación de los efectos de la ICU. En la Figura N°54 se observa vegetación en el fin de la Av. Daniel Copaja, la cual está en las cercanías del río San José, fortaleciendo la disminución de las temperaturas. Por otro lado, la Figura N°55, a pesar de ser forestación urbana, concuerda con medidas de ornato de la ciudad, además, es una medida que también coincide con una cobertura de suelo desnudo, que, a pesar de no ser aquella que más refresca las temperaturas, no corresponde a coberturas impermeables.

Figura N°55: Análisis temporal Av. Alcalde Edmundo Flores esq. Av. La Portada

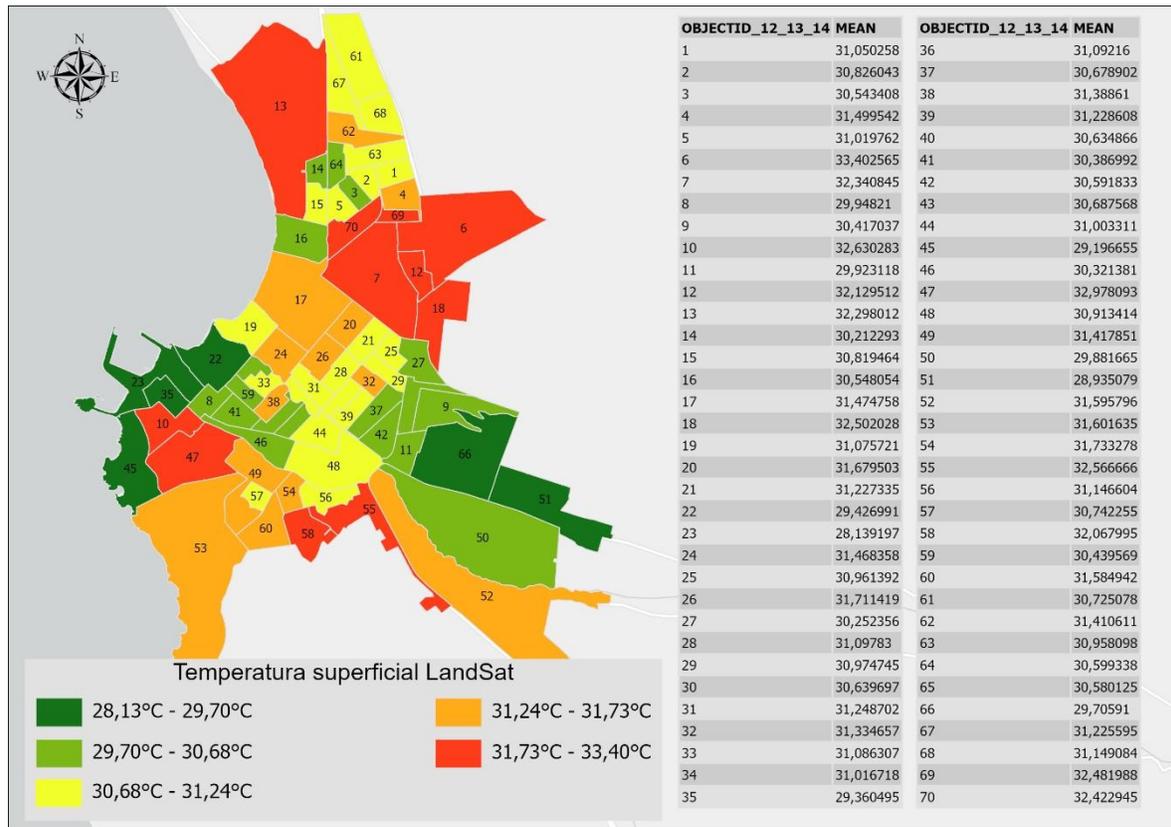


Fuente: Google Earth, 2022 y Elaboración propia, 2022

4.3.3 Relación entre temperatura superficial a escala local y condiciones socioeconómicas

Una vez realizados los análisis de temperatura superficial a escala local, es necesario relacionarla con las características descritas mediante el Censo (INE, 2017) (Ver Tabla N°3). Por ello, la Figura N°56 presenta el comportamiento de la temperatura superficial de LandSat por cada zona censal del área de estudio.

Figura N°56: Comportamiento de la temperatura superficial por zona censal



Fuente: Elaboración propia, 2022

En cuanto a la relación que tiene este comportamiento térmico con el indicador construido para esta investigación, el gráfico N°1 muestra qué tan estrecho es el vínculo entre ambos parámetros.

Capítulo 5: Discusiones

5.1 La mesoescala y su relevancia en el estudio de los climas urbanos

5.1.1 Análisis de temperatura a mesoescala

Para el comportamiento de la temperatura en una mesoescala se pudo observar que aquellas temperaturas máximas se encuentran en las afueras de las ciudades, esto se puede entender puesto que la ciudad se encuentra en una latitud muy cercana a la línea del ecuador presentando condiciones propias de desierto, lo que conlleva en una falta de vegetación y sombra que hace que las temperaturas lleguen a los 37°C.

Sin embargo, aquellas temperaturas más bajas se encuentran en el interior de la ciudad, esto se puede explicar, entre otras cosas, dada la cercanía del tejido urbano con el mar, el cual funciona como un agente enfriador de las temperaturas. Por otro lado, dentro de la ciudad existen algunas áreas verdes que permiten que la temperatura superficial descienda, además existen algunas construcciones que superan los dos pisos de altura, generando algunas sombras y relaciones H/W que permiten los flujos de viento, provocando que las temperaturas no sobrepasen los 31°C.

Dentro de la ciudad, las temperaturas se mantienen en un umbral de temperaturas entre los 28°C y los 31°C, esto se puede explicar dada la existencia de sitios eriazos en el medio de la ciudad, los cuales presentan una extensa porción de suelo expuesto a la radiación solar, además de ciertas áreas verdes que no siempre poseen una cobertura vegetal muy extensa o adecuada, como pueden ser, por ejemplo, grandes explanadas de cemento o vegetación artificial, como lo es el pasto sintético.

El comportamiento de la temperatura superficial intraurbano está configurado también por la presencia del río San José y por el valle de Azapa, los cuales presentan temperaturas de 30°C y 28°C respectivamente. En este caso, la presencia de un cuerpo de agua que, si bien no se hace presente todo el año,

presenta vegetación y actúa como un elemento refrescante para las altas temperaturas de verano. Mientras que para el caso del valle de Azapa la vegetación se refiere a usos de suelo agrícolas, los cuales son un agente refrescante, llegando incluso a temperaturas menores a los 28°C.

5.1.2 Análisis de variables a mesoescala

Con respecto a la distribución de las variables existen varias consideraciones territoriales, en primer lugar el sector surponiente de la ciudad, específicamente el valle de Azapa concentra una serie de singularidades en la disposición espacial de las variables estudiadas, puesto que, por ejemplo, concentra la mayor cantidad de material precario, paja y fonolita, mientras que, por otro lado, es de las zonas de Arica que menos reúne viviendas con losa de hormigón o tejas.

Por otra parte, el valle de Azapa agrupa una gran cantidad de población con años de educación del jefe de hogar correspondiente a educación completa, ya sea media o superior, a pesar de eso existe una baja relación entre jefes de hogar con educación media y superior completa ya que no son excluyentes y es posible entenderlas como una variable que puede ir variando a corto plazo.

Desde otra perspectiva, la zona norte de la ciudad, precisamente la zona norponiente de Arica, representada de las Figuras N°26 a la N° 36 como la zona censal N° 13, presenta bastantes particularidades, dado que presenta un bajo nivel de hacinamiento, un muy bajo porcentaje de población vulnerable en base al rango etario de la población y casi nula presencia de material precario, mientras que para el caso de fonolita, paja, planchas de zinc, tejas o sin techo la existencia es nula, sin embargo, se encuentra dentro de los niveles más altos de losa de hormigón y años de escolaridad superior del jefe de hogar.

5.1.3 Indicador de vulnerabilidad territorial

En relación al indicador construido con todas las variables mencionadas en la investigación, cabe señalar que tanto la zona censal N°13 como el valle de Azapa (Zona censal N°50 y N°52) presentan niveles bastante altos, 17 y 21 respectivamente, sobre todo considerando que la mayoría de la ciudad se concentra en valores cercanos a 13. Esto se puede explicar puesto que la metodología

utilizada, la cual consistió en una suma simple de variables, le otorgó igual influencia a todas las variables, en ese aspecto, todas las variables contenidas dentro de la dimensión de materialidad de la vivienda pueden generar diferencias importantes con respecto, por ejemplo, a las del rango etario o los niveles de escolaridad del jefe de hogar para una zona u otra.

5.2 Evaluación de la relación entre la temperatura superficial y el diseño urbano en la microescala

5.2.1 Análisis de temperatura a microescala

5.2.1.1 Vuelo centro

Las temperaturas superficiales medidas con el dron para el vuelo del centro de Arica, fluctuaron entre 27,2°C y 49,5°C, este umbral de temperaturas es mayor que el entregado por el satélite sin considerar el monitoreo del mar, dado que el dron contiene una resolución mucho mayor, lo que le permite identificar temperaturas bastante más específicas, lo que puede evidenciar la presencia de temperaturas tan extremas.

El sector del centro de Arica obtuvo temperaturas bastante bajas, esto se explica ya que la presencia de áreas verdes es mayor al contar con la presencia de los parques Brasil, Vicuña Mackenna y arbolado urbano en gran parte de sus avenidas principales (Ver Figura N°39).

Entre sus principales áreas verdes destacan el parque Brasil, donde gracias a la resolución del dron es posible identificar sus principales diferencias incluso dentro del mismo parque, pudiendo reconocer las distintas coberturas y sus comportamientos termales. En ese sentido, cabe señalar que las temperaturas más altas corresponden a pequeños sectores con suelo desnudo, donde, a pesar de no ser coberturas impermeables, son zonas carentes de vegetación por lo tanto no poseen las mismas temperaturas que aquellos tramos con pasto o arbolado.

Otra área verde que destaca corresponde al parque Vicuña Mackenna, cuya composición a la del parque Brasil, ya que posee una explanada de cemento, lo que conlleva a un leve aumento de la temperatura y un cuerpo de agua artificial, lo cual

corresponde a un agente de frescor, disminuyendo aun más el comportamiento termal, llegando temperaturas inferiores a los 30°C, lo anterior puede ser explicado por la altura del arbolado, lo cual produce basta sombra para refrescar la temperatura superficial de la cuadra completa.

A su vez, el centro histórico de la ciudad de Arica presenta, en gran parte, temperaturas relativamente bajas, si bien existen puntos altos en azoteas y calles, la mayoría de las superficies se mantienen cercanas a los 30°C, esto se puede explicar dada la presencia de arbolado urbano presente en bastantes calles y avenidas principales que cuentan con la presencia de plantaciones de distinto tipo en veredas y esquinas. Dichas plantaciones no solo corresponden a un agente enfriador por ser vegetación, sino que también brindan sombra durante gran parte del día, lo que se puede ver reflejado en las figuras dada la alta resolución que poseen los vehículos aéreos volados en terreno. Otro factor importante corresponde a la cercanía con el mar, lo que deriva en una presencia de brisas que refrescan las temperaturas superficiales, más aún cuando se vincula con el ancho de las calles, que para el caso de que fuesen angostas, permiten un flujo de viento mayor, enfriando aún más las temperaturas de las superficies.

5.2.1.2 Vuelo UTA

El vuelo realizado en la Universidad de Tarapacá presentó temperaturas bastante altas, superando los 55°C, diferenciándose del centro histórico de la ciudad, esto se puede explicar dada la lejanía con el borde costero y la disminución en la presencia de áreas verdes y coberturas vegetacionales. Un ejemplo de ello, es que en lugares como el Liceo Politécnico A-2, donde si bien existen sectores con vegetación y con edificios de dos o más pisos, los cuales aportan con una disminución considerable de las temperaturas, estas dependen de la materialidad de las construcciones puesto que en este sector se alcanzan picos de temperatura de 57°C, específicamente en azoteas donde predominan las construcciones de hormigón antiguo en color marrón oscuro.

Por otro lado, la presencia del río San José en el norte de la superficie sobrevolada es un agente de frescor para las temperaturas superficiales, no solo por su condición

de ser un cuerpo de agua, puesto que también posee basta vegetación en su lecho, la cual aporta con una disminución de la temperatura incluso en estaciones del año donde el río baja en su caudal.

5.2.2 La microescala y su relevancia en el estudio de los climas urbanos

5.2.2.1 Centro de la ciudad

Con respecto a las variables morfológicas levantadas en terreno, cabe mencionar que el punto 5 y 6 (ubicados en Av. Cristóbal Colón esq. Av. San Marcos y Av. Maipú esq. Av. Gral. Velásquez, respectivamente) son de los puntos con mayor temperatura y corresponden a aquellos donde los materiales de las paredes no eran hormigón. Si bien es cierto, el hormigón no es un agente enfriador de la temperatura superficial la no presencia de este material presentó un aumento en la temperatura, sobre todo en aquellos materiales más precarios como cholguán o latas. Además, ambos puntos coinciden con una falta de vegetación o vegetación urbana muy escasa.

Para el caso del punto 2, ubicado en Av. Chacabuco esq. Av. Arturo Prat, la temperatura alcanza los 35°C y está contigua a un área verde, su comportamiento termal es posible entenderlo desde el punto de vista de la sombra, puesto que, a pesar de contar con un edificio de 4 pisos, este no representa un agente que proyecte sombra, dada la posición de la estructura con respecto a la calle y la exposición solar, como al ancho de calle presente en la Av. Chacabuco, el cual es bastante ancho y expone a la radiación solar.

5.2.2.2 Alrededores de la UTA

Por otro lado, los puntos 10 y 11 tienen la temperatura más baja (33°C y 42°C, respectivamente) y están ubicados en el final de la Av. Daniel Copaja y al final de la Av. Juan Antonio Ríos, respectivamente, ambos puntos se ubican a un costado del Río San José, lo que corresponde a uno de los principales agentes de frescor para la temperatura superficial. Así, el punto 11 no presenta coberturas impermeables en sus superficies, teniendo suelo desnudo y ausencia de veredas de cemento. En este sentido, a pesar de la falta de vegetación, que es un elemento que refresca las

temperaturas, la influencia del río es mayor el descenso de las temperaturas. Para el punto 10 destaca la presencia de la especie Palma, especie de uso muy común en el norte de Chile y que no requiere grandes cantidades de agua para su riego, así como tampoco mayores cuidados.

5.3 Planificación y diseño sensible al clima en Arica

5.3.1 Parámetros morfológicos y su influencia en el comportamiento de la temperatura superficial

Con respecto a las medidas adoptadas por los distintos investigadores analizados, en Arica existen grandes posibilidades de mitigar los efectos de la Isla de Calor Urbana y del aumento de la temperatura y, por otra parte, aprovechar aquellos que generen una mejora en el confort térmico de la población. En ese sentido, se analizaron cinco factores morfoclimáticos donde se estudiaron las propiedades térmicas de los materiales y superficies, el color de las coberturas, la forestación urbana y el manejo de áreas verdes, las morfologías urbanas y las azoteas.

En primer lugar, la materialidad y las propiedades térmicas de las superficies son un aspecto crucial en el desarrollo de esta investigación, evaluar las condiciones en las que se encuentran los distintos componentes de las ciudades en sus terrenos y construcciones es sumamente importante para lograr un mejor desarrollo de la ciudad en su expansión, pudiendo mejorar los balances energéticos.

Por ello es imprescindible conservar y aprovechar aquellos cuerpos de agua, ya que son agentes de frescor para las temperaturas y, si son de origen natural, van acompañados de vegetación en su lecho, el cual también es una cobertura que disminuye las temperaturas. Para el caso de Arica, por sobre todo el río San José, el cual es de origen natural y atraviesa la ciudad de oriente a poniente.

Por otro lado, las condiciones en las que se encuentran las materialidades de las superficies urbanas son fundamentales, puesto que el paso del tiempo y el mal manejo en términos de conservación genera un deterioro en la calidad de las superficies, aumentando las temperaturas superficiales de las mismas producto del óxido de algunas techumbres y asfaltos en mal estado.

Un segundo factor ligado a las superficies corresponde al color de ellas, esto para identificar aquellas zonas con mayor o menor albedo, en ese aspecto, resulta necesario potenciar el uso de colores más claros o cercanos al blanco para aumentar el albedo de aquellas superficies donde sea menor, pudiendo así disminuir las temperaturas superficiales, principalmente en zonas periféricas de la ciudad donde predominan coberturas grises, a diferencia del centro de la ciudad hay más presencia de colores claros, sobre todo considerando las remodelaciones urbanas que han sucedido en la última década.

El manejo de las áreas verdes y la forestación urbana es un tema bastante significativo para el diseño sensible al clima en Arica. Como se ha mencionado a lo largo de la investigación, el contexto de ciudad árida implica que aquellas coberturas que poseen vegetación sean conservadas de manera sustentable, sin desaprovechar el recurso hídrico ni generar un mayor gasto de agua.

Por ello, es imprescindible que aquellas zonas donde, en un futuro, se proponga generar un área verde no cumplan solo con el objetivo de ornamentar la ciudad si no que ayuden a mitigar el alza de las temperaturas sin menoscabar el agua disponible en su mantención, para ello se propone la instalación de especies nativas y/o que no necesiten una cantidad de riego excesivo, pudiendo mantenerse sin la necesidad de extremar recursos.

Otra alternativa es potenciar aquellas instancias donde la comunidad es quien genera espacios de plantación de especies, dándole un nuevo sentido a espacios abandonados o sitios eriazos en medio de la ciudad. Con la visita a terreno se pudo evidenciar la presencia de algunas zonas donde eran vecinos quienes instalaban especies arbustivas, otorgándole un manejo y conservándolas en el tiempo, lo que permite advertir un buen diálogo entre autoridades y habitantes de la ciudad puede generar un gran cambio en el uso de espacios para áreas verdes de manera más sustentable sin impermeabilizar las coberturas de suelo.

Con respecto a las morfologías urbanas, existe un gran desafío en cuanto al ancho de las calles, puesto que la formación de cañones urbanos y el factor de visibilidad del cielo pueden ser importantes oportunidades para mitigar aquellos efectos que

provocan las altas temperaturas, pudiendo así generar mayores flujos de viento o presencia de sombra en medio del tejido urbano. Para el caso de Arica, es necesario aprovechar aquellas zonas donde las calles presentan fachadas continuas y el ancho de calle sea menor, y de tal manera, poder generar espacios donde los vientos puedan refrescar las temperaturas del aire y la sombra disminuir la temperatura superficial.

Un último factor para considerar corresponde a la aplicación de técnicas que mejoren el balance energético de las azoteas, las cuales no tienen una gran presencia como en otras ciudades del país, a pesar de ser capital regional. Sin embargo, eso puede significar una oportunidad puesto que la ciudad se encuentra en una sostenida expansión que puede ser conveniente para destinar esfuerzos en mejorar su rendimiento energético, pudiendo así forestarlas, pintarlas con colores que provoquen un mayor albedo o cubrirla con materiales que permitan refrescar y reducir la carga térmica que pueda tener el edificio.

En cuanto a lo señalado por el CEDEUS (2014), donde proponen medidas en términos de vulnerabilidad, recursos críticos, planificación e infraestructura cabe señalar la presencia de elementos importantes para un futuro diseño sensible al clima, sin embargo, no existen mayores detalles específicos en lo referente a la vulnerabilidad respecto de olas de calor ya que solo es mencionada como uno de los efectos del cambio climático. Ante ello, es imperioso generar lineamientos que provoquen un cambio en el espíritu de los instrumentos de planificación y diseño sensible al clima, logrando así, atacar directamente los aspectos urgentes ante una ola de calor o un aumento de las temperaturas.

Un elemento importante dentro del contexto de vulnerabilidad propuesto es la generación de reservorios para agua de lluvia puesto que, al ser una ciudad árida con pocos eventos de precipitación, es de gran ayuda poder recolectar aguas de lluvia y obtener parte del recurso por medio de eventos climáticos. En ese mismo sentido, existe una medida de concientización sobre la optimización de agua potable en contexto doméstico, pudiendo así aumentar la eficiencia en el uso del recurso,

dándole énfasis al reúso de aguas grises y su implementación en futuras zonas residenciales.

En términos de planificación, el CEDEUS (2014a) propone un manejo y creación de áreas verdes mediante participación ciudadana, esto es ideal considerado lo mencionado anteriormente, ya que vincular a los habitantes en la toma de decisiones puede sumar muchos beneficios para la mitigación de los efectos del cambio climático y la isla de calor, así como también la capacitación de autoridades en la gestión climática para así lograr insertar el diseño sensible al clima de manera integral, pudiendo generar asociaciones público-privada de acción frente al escenario de cambio climático.

Finalmente, la planificación del uso del suelo e infraestructura crítica en base al cambio climático que propone CEDEUS (2014b) comprende también una canalización, drenaje, parques inundables como medidas para minimizar los riesgos de inundación, no obstante, esta medida carece de contexto puesto que no considera la relación que existe entre este tipo de eventos y su ocurrencia en el área de estudio, sin embargo puede ser útil al momento de evaluar alguna crecida de un río o activación de quebradas.

5.3.2 Análisis de potenciales lineamientos de planificación sensible al clima

En un acercamiento microescalar se realizó una identificación de zonas dentro de la ciudad cuyo entorno permite identificar zonas de potenciales mejoras en términos morfoclimáticos o de análisis de medidas tomadas en términos de cambios en el paisaje urbano, ante ello, existen algunos planes de remodelación que modificaron la morfología de algunas calles pudiendo así mejorar ciertos aspectos que perjudicaban el comportamiento térmico de la ciudad.

En primer lugar, existen dos instancias en las que se hicieron renovaciones urbanas, para el caso de esta investigación se analizaron la de Av. Morro y Av. Cristóbal Colón, donde fueron renovados los pavimentos, se instalaron nuevas luminarias y se estableció vegetación en maceteros y jardineras. En ese aspecto se puede interpretar como beneficiosa una renovación paisajística, de aseo y de

ornamentación, además de ser bien recibidas por los habitantes de la ciudad, no obstante, no mitigan los efectos del cambio climático.

Considerando lo anterior y a pesar de que estas transformaciones urbanas presentan vegetación, esta no corresponde a un área verde, por lo que los enfoques debiesen estar en generar coberturas vegetacionales que sí impacten en el comportamiento de la temperatura superficial, ya que, para el caso de estas dos instancias existe un empeño por impermeabilizar las coberturas de suelo, provocando un aumento drástico en las temperaturas superficiales.

En la Figura N°57 donde ambos remozamientos corresponden a medidas de remodelación urbana mediante decreto del año 2016 (Ilustre Municipalidad de Arica, Ordenanza N°06 de 2016), se impermeabilizan las superficies utilizando hormigón y cemento, sin darle importancia a los balances de energía del terreno.

Figura N°57: Vegetación urbana mediante renovaciones públicas



Fuente: Google Earth, 2022 y Elaboración propia, 2022

Por otro lado, las instancias en donde la comunidad genera coberturas vegetacionales, pueden ser un contexto mucho más relevante para aplacar las consecuencias del estrés térmico, puesto que pueden ser consideradas áreas verdes ya que no utilizan cemento en sus coberturas de suelo, además se utilizan materiales reciclados y las especies utilizadas no requieren grandes cantidades de agua para su mantención, sin embargo, es posible observar que no existe un apoyo por parte del aparato público ya que no ha habido mayor cambio en los últimos años, lo que deriva en un debilitamiento del área verde, no pudiendo consolidarse como tal.

Figura N°58: Iniciativas populares de coberturas vegetacionales



Fuente: Elaboración propia, 2022

Otros análisis temporales realizados corresponden a propuestas en las que el paso del tiempo denota empeños en consolidar, por ejemplo, áreas verdes en la Av. Chacabuco, frente al parque Brasil, donde se puede evidenciar un crecimiento de las especies y una instalación de protección para esta área verde. Estas medidas ayudan a implementar acciones concretas en la conservación y manejo de

coberturas vegetacionales, sin embargo, aún pueden ser más eficaces y lograr una conducción real frente al aumento de las temperaturas por parte del aparato público.

En otro sector de la ciudad, precisamente en las intersecciones de Av. Cristóbal Colón Y Av. San Marcos, se presenta un caso totalmente contrario al anterior de Av. Chacabuco, ya que aquí, existen construcciones abandonadas o a medio terminar que presentan una gran oportunidad de poder intervenir de mejor manera en términos de diseño sensible al clima, logrando de esta manera un aprovechamiento de las variables morfológicas para el mejor desempeño de los balances energéticos frente al aumento de la temperatura.

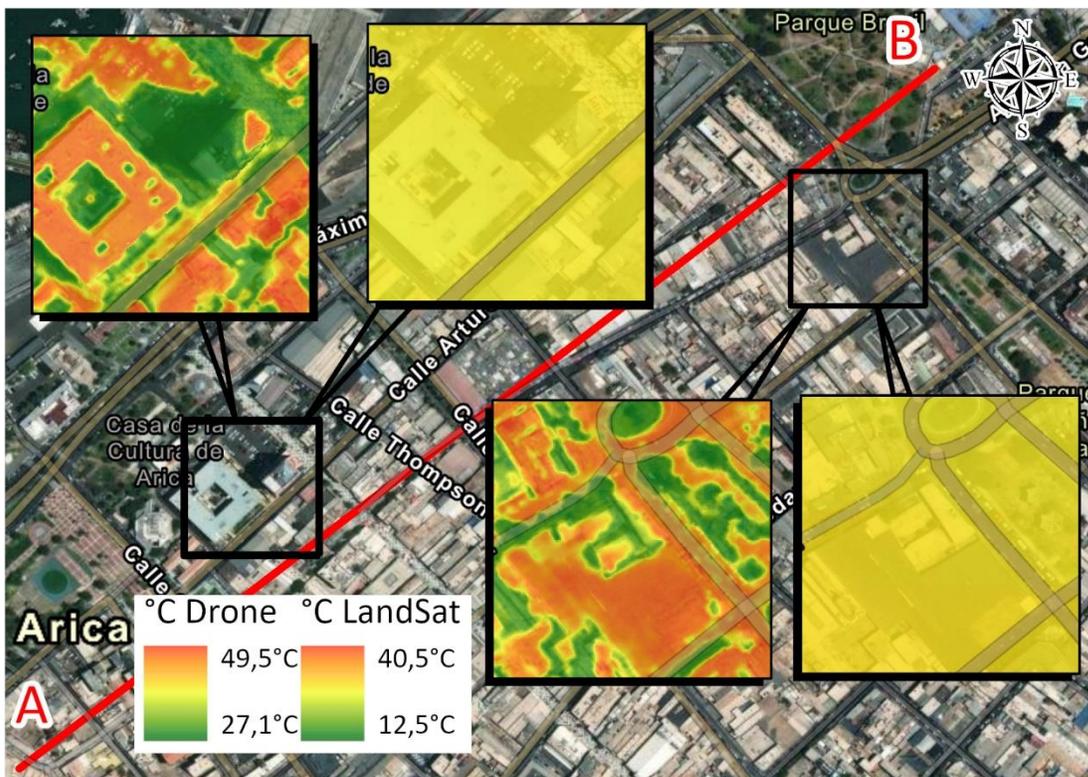
5.3.3 Análisis de la relación entre temperatura superficial de mesoescala con indicador de vulnerabilidad territorial

Cuando se vinculó empíricamente la temperatura superficial con los parámetros morfoclimáticos en una escala local, se permitió evidenciar cuánto se relacionaban estos dos aspectos, específicamente entre el indicador construido y la temperatura de superficies del satélite LandSat. Sin embargo, la relación fue negativa, mostrando que aquellas zonas censales con mayor nivel de indicador tienden mayor temperatura, mientras que, por el contrario, aquellos sectores con menor nivel de indicador poseen menor temperatura en verano. Esto se puede explicar dada la metodología utilizada para el indicador, la cual como se mencionó en el capítulo N°3 corresponde a una suma ponderada de variables, por otro lado, otra explicación radica en que el indicador no contiene información de coberturas naturales, el cual es un agente de frescor importante para las temperaturas superficiales.

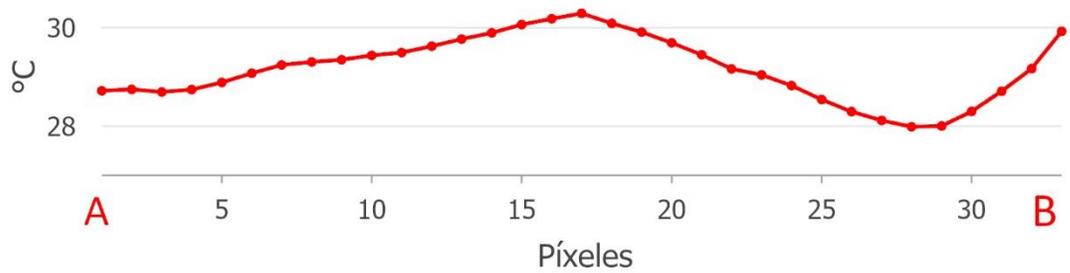
5.4 Análisis multiescalar

Una de las innovaciones más importantes que se presentaron en esta investigación trató sobre la multiescalaridad que tenía este estudio, en ese aspecto, cabe señalar las diferencias en cuanto a temperatura superficial se refiere. Para ello las figuras N°59 y N°60 presentan las diferencias en términos de resolución de ambos sensores, pudiendo comparar gráficamente a ambos en cada vuelo realizado.

Figura N°59: Comparación entre satélite y dron para el caso del vuelo en el centro



LandSat Centro



Drone centro

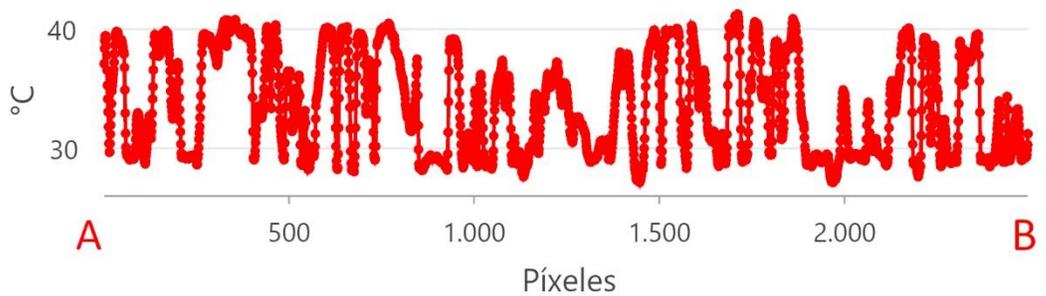
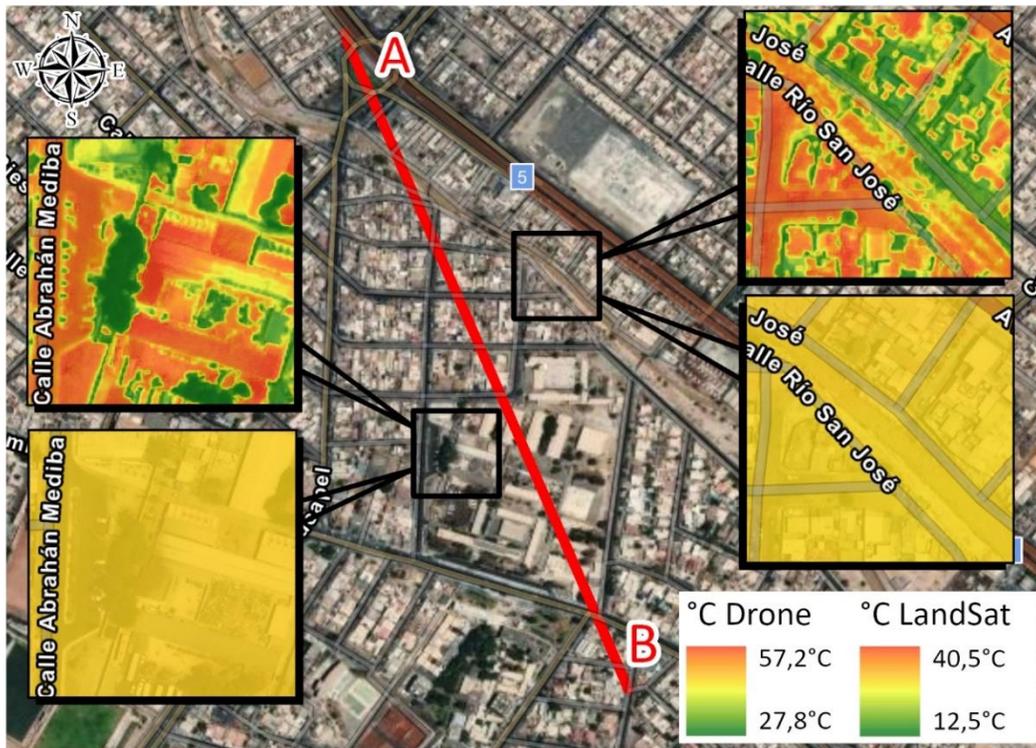
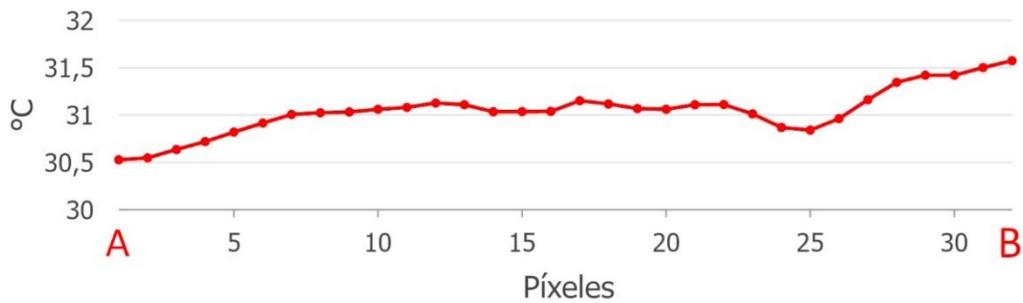


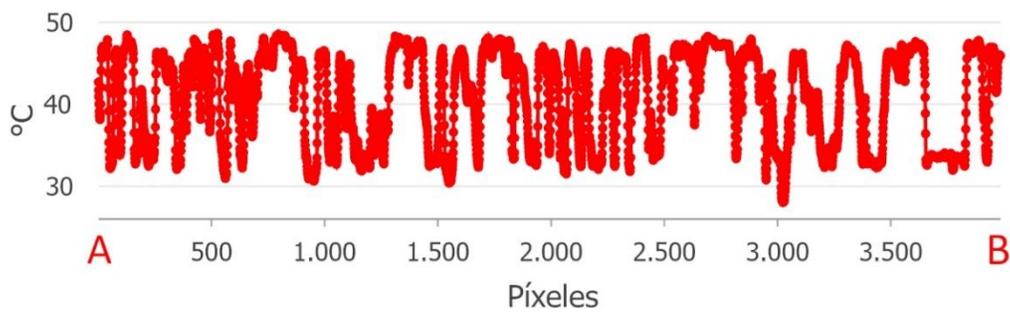
Figura N°60: Comparación entre satélite y dron para el caso del vuelo en la Universidad de Tarapacá



LandSat UTA



Drone UTA



Fuente: Elaboración propia, 2022

Algunos de los aspectos más relevantes a considerar se refieren a los distintos niveles de detalles que ofrecen ambos sensores, por un lado, el satélite no permite identificar las diferencias de temperatura entre una cobertura y otra, mientras que el dron posee una gran capacidad para analizar una superficie y su comportamiento termal de manera mucho más acabada en una microescala. No obstante, el dron requiere de muchos recursos para el análisis de la temperatura puesto que tanto la programación, como el vuelo y el procesamiento de las imágenes precisa alto costo en tiempo.

Capítulo 6: Conclusiones

La ciudad de Arica se encuentra inserta en un contexto árido y costero, lo que deriva en un análisis bastante complejo si se busca explicar el comportamiento térmico que tenga la ciudad, más aún cuando se buscan las causas en la distribución de los efectos del cambio climático, sin embargo su comportamiento termal es bastante homogéneo y varía poco en el tiempo, por lo tanto el desafío de esta investigación se sostuvo en la multiescalaridad y su influencia en el estudio de la relación entre la planificación territorial y el clima urbano.

A pesar de que existió una relación negativa entre los parámetros morfológicos de la ciudad contenidos en el indicador de vulnerabilidad territorial y la temperatura superficial, es posible llegar a establecer ciertas relaciones para algunas variables, pues para investigaciones futuras puede ser un gran aporte realizar un estudio por separado de los parámetros estudiados y poder contribuir de mejor manera en la planificación y diseño sensible al clima.

En su condición de ciudad árida, los efectos del cambio climático pueden ser muy diversos, así como también los efectos de la isla de calor, para el caso de la ICU esta debe mitigarse en verano, mediante la disminución de las temperaturas, sin perjuicio de los posibles aprovechamientos que pueda tener en invierno. Asimismo, se deben aprovechar todas las instancias en las que la vegetación regule los efectos antes mencionados, por lo que se debe potenciar el uso de especies que no requieran muchas cantidades de agua y sin impermeabilizar los suelos, privilegiando la infiltración de aguas de lluvia.

De igual manera, no se debe enfatizar en que la falta de vegetación pueda significar un deterioro en las condiciones de diseño urbano para los habitantes de Arica, por el contrario se debiesen potenciar otros aspectos para una ciudad costera y árida, como lo son los flujos de viento y las horas de sol, puesto que sobre todo el centro de la ciudad se encuentra a metros de la línea de costa, pudiendo recibir mucho flujo de viento, refrescando considerablemente las temperaturas y obteniendo bastas cantidades de radiación solar la cual puede significar un aprovechamiento de la ICU en invierno.

En ese sentido una de las hipótesis planteadas por esta investigación postula que el comportamiento de la temperatura superficial a microescala se relaciona con las características del diseño urbano, dentro de este último se postula que la materialidad y el color son las más significativas, en ese sentido el postulado se cumple parcialmente puesto que no se estableció una razón empírica entre ambos parámetros y la temperatura superficial, sin embargo en una escala micro fue posible identificar que aquellas coberturas o superficies cuyas materialidades se encontraban más deterioradas o no presentaban colores similares al blanco, poseían temperaturas más altas.

Por otro lado, una segunda hipótesis señala que el diseño urbano y el comportamiento del clima se relacionan con las condiciones socioeconómicas, esperando que aquellos barrios que presenten menos condiciones de diseño urbano sean más vulnerables frente a los efectos del cambio climático, lo que daría cuenta de (in)justicia climática. Como se mencionó anteriormente, la relación entre vulnerabilidad territorial y temperatura no fue convincente en términos numéricos, para futuras investigaciones se podría realizar un análisis con respecto a otro tipo de vulnerabilidades, tales como, acceso a áreas verdes, cobertura de salud, entre otras.

Con respecto al estudio de los elementos morfoclimáticos en la microescala podría resultar útil una mayor recolección de puntos para así poder generar mayor número de casos de estudio y vincularlo de mejor manera con el estudio de la temperatura superficial, sin embargo, cabe mencionar que dada la alta resolución que posee el dron en su monitoreo termal es necesario extrapolar la temperatura contenida en los puntos, por lo tanto, se puede perder sustento al vincular ambos factores.

El monitoreo de la temperatura mediante imágenes satelitales conlleva una gran relevancia para el estudio del clima urbano ya que es posible estudiar las características generales de planificación urbana, pudiendo identificar de mejor forma aquellas zonas de temperatura más elevada, sin embargo, es necesario poder integrar un análisis multiescalar mediante el uso de dron y así poder obtener un mayor detalle para el comportamiento de las distintas coberturas.

A pesar de tratarse de un estudio exploratorio en la innovación en cuanto a tecnología, el monitoreo de la temperatura por medio de vehículos no tripulados conlleva a un gran avance en materia de planificación y diseño sensible al clima pudiendo complementar de mejor manera el estudio de los climas urbanos y su relación con los parámetros morfológicos de una ciudad.

Esto puede ser complementado en un futuro por mayor cantidad de vuelos, en distintas horas del día y distintas estaciones del año. Además, dada la tecnología de estos aparatos es posible realizar estudios de vegetación normalizados tales como NDVI, además de poder integrar otras variables tales como el transporte dentro de la ciudad, el factor de visibilidad del cielo, así como también, la innovación en el tratamiento de los datos, ya sea mejorando el procesamiento de las imágenes obtenidas por el dron, utilizando herramientas como Open Drop Map o Pix4D, lo que podría resultar muy relevante en futuras investigaciones de clima urbano.

Capítulo 7: Bibliografía y anexos

7.1 Bibliografía

- Alchapar. N, Correa. E & Lesino. G. (2012). Estrategias de enfriamiento pasivo urbano. Índice de reflectancia solar y relación costo-beneficio en pinturas para fachadas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 16, No. 2, p. 05.67-05.74
- Andrade, H. (2005). O clima urbano – natureza, escalas de análise y aplicabilidade. *Finisterra XI (80)*, 67 – 91.
- 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.
- Arellano Ramos, B., & Roca Cladera, J. (2015). Planificación urbana y cambio climático. In *XLI Reunión de Estudios Regionales AEER: International conference on regional science: innovation and geographical spillovers: new approaches and evidence* (pp. 1-18). Universitat Rovira i Virgili.
- Arica Hoy. (Noviembre 15, 2016). “Calle Colón Peatonal”. <https://www.aricahoy.cl/2016/11/calle-colon-peatonal/>
- Atlas para el riesgo climático (2021). Ministerio del Medio Ambiente de Chile. Recuperado de https://arclim.mma.gob.cl/atlas/view/calor_extremo_salud_humana/
- Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). *Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data*. *Journal of Sensors*, 2016.
- Barrett, S. (2013). The necessity of a multiscalar analysis of climate justice. *Progress in Human Geography* 37, 215–33.
- Barton, J., & Harris, J. (2011). Planes de Adaptación Urbana: Casos y experiencias de planificación para la adaptación en trece ciudades.
- Brown, Robert y GILLESPIE, Terry. *Microclimatic landscape Design: Creating thermal confort and energy efficiency*. New York: John Wiley and Sons, 1995.

- Burud, I., Vukovic, M., Thiis, T., & Gaitani, N. (2018, August). *Urban surfaces studied by VIS/NIR imaging from UAV: possibilities and limitations*. In Sixth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2018) (Vol. 10773, p. 1077316). International Society for Optics and Photonics.
- Bustamante, W., Rozas, Y., Cepeda, R., Encinas, F., & Martínez, P. (2009). *Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social*. Santiago, Ministerio de Vivienda y Urbanismo división Técnica de Estudio y Fomento Habitacional y Programa País de Eficiencia Energética (CNE).
- Campos-Aranda, Daniel F. (2011). Transferencia de información hidrológica mediante regresión lineal múltiple, con selección óptima de regresores. *Agrociencia*, 45(8), 863-880. Recuperado en 08 de diciembre de 2022, de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952011000800002&lng=es&tlng=es.
- Carrasco, C., Palme, M., & Galvez, M. (2016). Factor de cielo visible y el efecto de isla de calor en Valparaíso. *Urbano*, 19(34). revistas.ubiobio.cl/index.php/RU/article/view/2614
- Castillo Valdivia, I. (2020). Clima urbano de espacios públicos en Peñalolén: confort térmico exterior como un caso de injusticia climática.
- Castro, M. B. S., Correa, É., & Cantón, M. A. (2017). Influencia de la morfología urbana sobre la habitabilidad térmica exterior en una ciudad de clima árido. *Hábitat Sustentable*, 7(1), 44-53.
- Correa, É. N., Rosa, C. D., & Lesino, G. (2006). Monitoreo de clima urbano. Análisis estadístico de los factores que determinan la isla de calor y su aporte al diseño de los espacios urbanos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 10.
- CUADRAT, J. MA & VICENTE, S. (2005): "Los efectos de la urbanización en el clima de Zaragoza". Boletín de la AGE, 40, 311-328.
- Dirección Meteorológica de Chile, (2020). Recuperado de <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/informacion/ficha-de-estacion/330020>

- Eliasson, I. (2000). The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape and urban planning*, 48(1-2), 31-44.
- Environmental Protection Agency. (2008). Reducing urban heat islands: Compendium of strategies. United States Environmental Protection Agency. www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium
- EVANS, J & DE SCHILLER, S. (2005). La isla de calor en ciudades con clima cálido-húmedo el caso de Tampico, México. *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 9, p 11.37-11.42
- Errell, E., Pearlmutter, D., & Williamson, T. (2012). *Urban microclimate: designing the spaces between buildings*. Routledge.
- Fisher, S. (2015). The emerging geographies of climate justice. *The Geographical Journal* 181(1), 73-82.
- García Nieto, Hilario, & Martínez León, Gilberto. (2007). Uso de ortofotos para actualizar el mapa de uso del suelo en Guanajuato, México. *Agricultura técnica en México*, 33(3), 271-280.
- Garnier, J. P., & Masip, M. (1976). *Planificación urbana y neocapitalismo*. Grupo de Geografía Humana, Departamento de Geografía, Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Barcelona.
- Garreaud, R. (2011). Cambio climático: bases físicas e impactos en Chile.
- Gómez Sarria, N. (2014). Climatología urbana de Copiapó como ciudad localizada en un medio ambiente árido. Universidad de Chile.
- Hervé, D. (2010). Noción y elementos de la justicia ambiental: directrices para su aplicación en la planificación territorial y en la evaluación ambiental estratégica. *Revista de Derecho (Valdivia)*, XXIII (1), 9-36.
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2017). Censo de población y vivienda.
- Instituto Nacional de Estadísticas & Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2019). Metodología para medir el crecimiento físico de los Asentamientos Humanos en Chile (Comisión de Estudios Habitacionales y Urbanos, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ed.). República de Chile. geoarchivos.ine.cl/File/pub/LIBRO-CEHU-ASENTAMIENTOS-26-08.pdf

- IPCC, Climate Change. (2014). Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Chapters 8: Urban Areas, Part A: Global and Sectoral Aspects. [Field et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp. Jirón, L. C. (2012). Caracterización de patrones bioclimáticos en tejidos urbanos residenciales. Cuadernos de investigación urbanística, (82), 6-70.
- Kurban, A. S., Papparelli, A. H., & Cunsulo, M. E. (2002). Aporte de la forestación al control del clima urbano en zona árida.
- Lavee, H., Imeson, A.C., Sarah P. (1998). The impact of climate change on geomorphology and desertification along a Mediterranean arid transect. Land Degradation and Development, 9, 407- 422.
- Ochoa de la Torre, J. M., Marincic Lovriha, I., & Alpuche Cruz, M. G. (2009). Análisis del confort climático para la planeación de sitios turísticos. In *5th International Conference Virtual City and Territory, Barcelona, 2, 3 and 4 June 2009* (pp. 481-488). Centre de Política de Sòl i Valoracions.
- Oke, T. (1976) The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands, *Atmosphere*, 14:4, 268-277, DOI: 10.1080/00046973.1976.9648422
- Oke. T. (1982). The energetic basis of the urban heta island. *Quart. J. Roy. Meteorological society*. En línea: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/qj.49710845502/abstract>
- Oke, T. (2010). The distinction between canopy and boundary layer urban heat island. *Atmosphere*, 14(4), 266 – 277
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). *Urban climates*. Cambridge University Press.
- Ordenanza N°06 (2016) [Ilustre Municipalidad de Arica]. Ejecución del Proyecto “Mejoramiento de Pavimentos Peatonales, Casco Antiguo de Arica, calle Cristóbal Colón”. 16 de noviembre de 2016. Ilustre Municipalidad de Arica.

- ORTÚZAR. S. (2010). Introducción a la planificación territorial. Universidad Central. En línea: <http://www.ucentral.cl/fid/pdf/Introduccion%20a%20la%20planificacion.pdf>
- Perico-Agudelo, D. (2009). El espacio público de la ciudad: Una aproximación desde el estudio de sus características microclimáticas. Cuadernos De Vivienda Y Urbanismo, 2(4). Recuperado a partir de <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/cvyu/article/view/5519>
- PNUD. (2014). Hacia una Nueva Política Urbana para Chile. Política Nacional de Desarrollo Urbano: Ciudades Sustentables y Calidad de Vida. Santiago, Chile.
- Quintana-Talvac, C., Corvacho-Ganahin, O., Smith, P., Sarricolea, P., Prieto, M., & Meseguer-Ruiz, O. (2021). Urban Heat Islands and Vulnerable Populations in a Mid-Size Coastal City in an Arid Environment. *Atmosphere*, 12(7), 917. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/atmos12070917>
- Rebolledo, M. D. M. (2003). *La dimensión ambiental en los instrumentos de planificación territorial*. Urbano, 6(7), 63-72.
- Romero, H., Irrázaval, F., Opazo, D., Salgado, M., & Smith, P. (2010). Climas urbanos y contaminación atmosférica en Santiago de Chile. EURE (Santiago), 36(109), 35-62.
- Romero, H., Salgado, M., & Smith, P. (2010). Cambios climáticos y climas urbanos: Relaciones entre zonas termales y condiciones socioeconómicas de la población de Santiago de Chile. Revista invi, 25(70), 151-179.
- 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 207. Pág.
- Sarricolea, P., & Romero, H. (2015). Variabilidad y cambios climáticos observados y esperados en el Altiplano del norte de Chile. Revista de Geografía Norte Grande, (62), 169-183.

- Smith, P., & Andrade, X. (2013). Distribución termal intraurbana en las ciudades de Santiago y Valparaíso. Análisis comparativo de sus factores explicativos. *Investigaciones Geográficas*, (46), ág-25.
- Smith, P., & Romero, H. (2016). Factores explicativos de la distribución espacial de la temperatura del aire de verano en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (63), 45-62.
- Smith Guerra, P. (2018). Estudio del confort térmico y la calidad climática en el espacio público. Estudio de caso en la ciudad de Chillán, Chile.
- Smith, P., & Henríquez, C. (2019). Perception of thermal comfort in outdoor public spaces in the medium-sized city of Chillán, Chile, during a warm summer. *Urban Climate*, 30, 100525.
- Sorenson, G. (2018). *Evaluation of unmanned aerial vehicles and analytical software for creation of a crop consulting business*.
- Soto-Estrada, E. (2019). Estimación de la isla de calor urbana en Medellín, Colombia. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(2), 421-434. doi.org/10.20937/RICA.2019.35.02.13
- Tan, J., Zheng, Y., Tang, X., Guo, C., Li, L., Song, G., ... & Chen, H. (2010). The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International journal of biometeorology*, 54(1), 75-84.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs Population Division (2018). *The World's Cities in 2018: Data Booklet*. New York: United Nations
- Villanueva-Solís, J., Ranfla, A., & Quintanilla-Montoya, A. (2013). Isla de Calor Urbana: Modelación Dinámica y Evaluación de medidas de Mitigación en Ciudades de Clima árido Extremo. *Información Tecnológica*, 24(1), 15-24. doi.org/10.4067/S0718-07642013000100003

7.2 Anexos

Anexo N°1: Ejemplo de instrumento de monitoreo en terreno

Parámetro	Descripción	Método
ID punto	1 - TRANSECTA	Registro en ficha
Dirección de referencia	EL Morro ^{a los} pies del morro Arica	
Hora y día	13:02 12/01/22	
Sky View Factor		Ojo de Pez al centro de la calle
Altura edificaciones (n° de pisos)	3 - 2	Observación, registro en ficha y fotografía en ambas veredas
Orientación Calle	Noroeste	
Construcción pareada o aislada	Pareado	
Material Paredes	Panderetas, morticon con cerámica	
Color paredes	azul, grises	
Material Techo	Zinc, tejas	
Color Techo		
Color/Material carpeta vereda	Paseo Peatonal: Gris, café claro, rojo	
Color/Material carpeta suelo	Pavimento	
Tipo/Características Vegetación	Vegetación urbana: Palma, pimiento	
Registro Fotográfico Calle		Registro horizontal a la derecha e izquierda del punto de muestreo

temp + 26,3 °C
 RH % + 55,2 %
 Vel Wind + 0,8 m/s
 Dir Wind + Este

Id	Identificación de puntos
Numdepisos	Número de pisos
orientacio	Orientación de calles
constucc	Tipo de construcción
matparedes	Material de las paredes
colorpared	Color de las paredes
mattecho	Material de las techumbres
Colortecho	Color de las techumbres
Colmatver	Color y/o material de las veredas
Colmatsuel	Color y/o material del suelo
tipovegeta	Tipo y/o condición de la vegetación
MEAN	Promedio de la temperatura superficial obtenida por el dron