



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y GEOGRAFÍA**

**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA**

**ROL DE LA VEGETACIÓN EN EL CONTROL DEL MICROCLIMA  
URBANO Y EN LA ADAPTACIÓN A LOS EFECTOS DEL CAMBIO  
CLIMÁTICO EN EL BARRIO SAN PEDRO DE LA COSTA I  
UBICADO EN SAN PEDRO DE LA PAZ, CHILE**

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓGRAFA**

Por: JAVIERA ANDREA PÉREZ JARA

Profesor guía: DR. FRANCISCO JAVIER DE LA BARRERA MELGAREJO

enero 2021

Concepción, Chile

## **AGRADECIMIENTOS**

Infinito agradecimiento a mi familia por su incondicional apoyo y cariño en todas las formas posibles, sin ellos nada hubiese sido posible.

A mis amigas y amigos universitarios por su amistad, simpatía y compañerismo, siempre han sido la mejor parte de mi paso por la universidad.

A la carrera por juntarme con mi compañero de vida, al que le agradezco por su compañía, motivación y amor.

A las profesoras y los profesores de la carrera de Geografía por todas sus enseñanzas.

Agradezco profundamente a mi profesor guía Dr. Francisco de la Barrera por su inagotable paciencia y buena disposición en este largo camino.

Al Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS) por su significativo aporte en esta investigación y a PAISUR por su creciente red de apoyo.



## Tabla de Contenido

AGRADECIMIENTOS .....	2
Índice de Figuras .....	4
Índice de Tablas.....	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 Introducción.....	10
1.2 Planteamiento del problema.....	11
1.3 Hipótesis .....	12
1.4 Objetivos .....	13
1.4.1 Objetivo general .....	13
1.4.2 Objetivos específicos.....	13
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	14
2.1 Cambio climático en las ciudades .....	15
2.1.1 Impacto del cambio climático y adaptación en medios urbanos.....	15
2.1.2 Biodiversidad como respuesta al cambio climático.....	17
2.2 Clima urbano y factores que determinan el microclima urbano .....	19
2.2.1 La escala como factor determinante de las características del clima urbano. ....	20
2.2.2 La importancia de la vegetación urbana.....	22
2.3 Características y evaluación del aporte de la biodiversidad urbana en el control del microclima urbano.....	23
2.3.1 Elementos de la biodiversidad urbana relevantes para el control del microclima .....	24
2.3.2 Herramientas geográficas para evaluar el rol de la vegetación urbana en el microclima	26
CAPÍTULO III METODOLOGÍA .....	30
3.1 Metodología.....	31
3.2 Área de estudio .....	33
3.3 Descripción de los efectos del cambio climático proyectados para San Pedro de la Paz. ....	36
3.4 Descripción del microclima del barrio en base a sensores de temperatura <i>in situ</i> . ....	37

3.5 Digitalización de la distribución de la vegetación en el barrio.....	41
3.6 Modelación espacial para evaluar el aporte de la vegetación .....	42
CAPÍTULO IV RESULTADOS.....	46
4.1 Efectos de cambio climático proyectados para San Pedro de la Paz.....	47
4.2 Microclima en San Pedro de la Costa I.....	48
4.2.1 Datos de invierno e interpolación espacial .....	48
4.2.2 Datos de verano e interpolación espacial.....	52
4.3 Aporte de la vegetación en el control del microclima urbano.....	54
4.3.1 Descripción del barrio en base a imágenes satelitales .....	54
4.3.2 Digitalización de la distribución de la vegetación urbana .....	56
4.4 Modelación espacial de la temperatura en el barrio.....	60
4.4.1 Modelación espacial de temperaturas usando ENVI-met .....	60
4.4.2 Evaluación del rol de la vegetación en la regulación del microclima urbano a través de una simulación del incremento en su cobertura vegetal en el barrio. ....	67
4.4.3 Evaluación del rol de la vegetación en la regulación del microclima en proyección climática a través de ENVI-met.....	73
CAPÍTULO V DISCUSIÓN.....	80
5.1 Discusión.....	81
5.2 Limitaciones del estudio.....	85
CAPÍTULO VI CONCLUSIÓN .....	87
Conclusión .....	88
CAPÍTULO VII REFERENCIAS.....	89
CAPÍTULO VIII ANEXO .....	96

### **Índice de Figuras**

Figura 1: Esquema Metodológico.....	32
Figura 2: Localización espacial del barrio San Pedro de la Costa I. ....	35
Figura 3: Barrio San Pedro de la Costa I. Se destacan las áreas construidas, las áreas verdes y la red de transporte público.....	36
Figura 4: Áreas de medición de temperatura domiciliaria y de espacios públicos. ....	38

Figura 5: Ubicación sensores de temperatura de invierno.....	39
Figura 6: Ubicación sensores de temperatura de verano. ....	40
Figura 7: Proceso en Envi-met para desarrollar una simulación espacial. ....	45
Figura 8: Temperaturas en San Pedro de la Paz (1980-2010 y escenario al 2050). ....	47
Figura 9: Precipitaciones en San Pedro de la Paz (1980-2010 y escenario al 2050). ....	48
Figura 10: Interpolación de temperaturas promedio durante un día de invierno en San Pedro de la Costa I. ....	51
Figura 11: Interpolación de temperaturas promedio de un día de verano en San Pedro de la Costa I. ....	53
Figura 12: Evolución temporal del barrio.....	55
Figura 13: Cartografía de la vegetación del barrio San Pedro de la Costa I.....	56
Figura 14: Cartografía de la vegetación del sector oeste del barrio. ....	58
Figura 15: Cartografía de la vegetación del sector este del barrio. ....	59
Figura 16: Temperatura en una mañana de invierno en San Pedro De La Costa I. ....	61
Figura 17: Temperatura en una tarde de invierno en San Pedro De La Costa I.....	62
Figura 18: Temperatura en un atardecer de invierno en San Pedro De La Costa I. ....	63
Figura 19: Temperatura en una mañana de verano en San Pedro De La Costa I.....	64
Figura 20: Temperatura en una tarde de verano en San Pedro De La Costa I. ....	65
Figura 21: Temperatura en un atardecer de verano en San Pedro De La Costa I.....	66
Figura 22: Temperatura mínima día de invierno con vegetación actual (15%).....	69
Figura 23: Temperatura mínima día de invierno con 50% de vegetación. ....	69
Figura 24: Temperatura mínima día de invierno con 90% de vegetación. ....	70
Figura 25: Temperatura máxima día de verano con vegetación actual.....	72
Figura 26: Temperatura máxima día de verano con 50% de vegetación. ....	72
Figura 27: Temperatura máxima día de verano con 90% de vegetación. ....	73
Figura 28: Temperatura mínima día de invierno con proyección climática y vegetación actual. ....	75
Figura 29: Temperatura mínima día de invierno con proyección climática y 50% de vegetación....	75
Figura 30: Temperatura mínima día de invierno con proyección climática y 90% de vegetación....	76
Figura 31: Temperatura máxima día de verano con proyección climática y vegetación actual. ....	78
Figura 32: Temperatura máxima día de verano con proyección climática y 50% de vegetación ....	78
Figura 33: Temperatura máxima día de verano con proyección climática y 90% de vegetación ....	79
Figura 34: Pasaje del barrio. ....	97
Figura 35: Área de vegetación degradada. ....	97
Figura 36: Áreas verdes del barrio.....	98

## Índice de Tablas

Tabla 1: Tabla resumen de las variaciones de temperaturas durante el día en invierno y verano.	67
Tabla 2: Porcentaje de pixeles por rango de temperatura para invierno. ....	68
Tabla 3: Porcentaje de pixeles por rango de temperatura para verano.....	71
Tabla 4: Porcentaje de pixeles por rango de temperatura para invierno con variación climática. ....	74
Tabla 5: Porcentaje de pixeles por rango de temperatura para verano con variación climática.....	77



## RESUMEN

Los efectos del cambio climático sobre el territorio mundial son y serán desastrosos para la población principalmente en las áreas urbanas, por lo que, se hace fundamental conocer las medidas de adaptación al cambio y de mitigación de sus efectos. Así, el objetivo general de este estudio es evaluar los efectos del cambio climático en el microclima urbano y el rol actual y potencial de la vegetación urbana en la temperatura del aire del barrio San Pedro de la Costa I de la ciudad de San Pedro de la Paz, a través, del uso de sensores de temperatura *in situ* analizados en el programa *ArcGis 10.3* mediante herramientas de interpolación para visualizar el comportamiento de las temperaturas de barrio y su relación con la vegetación presente en él. Y el programa *Envi-met 4.5* para realizar los modelos de simulación espacial con el fin de analizar el comportamiento del barrio con variaciones climáticas proyectadas y alteraciones en la vegetación.

Los resultados indican que la vegetación presente en el barrio si influye en la distribución de las temperaturas, y su aumento sobre todo de vegetación del tipo arbórea podría regular los efectos del microclima urbano en la actualidad y en el futuro cuando las temperaturas aumenten producto del cambio climático. Si bien, el aumento de la vegetación en las áreas urbanas es la clave para mejorar la adaptación al cambio climático y regular la temperatura, en el barrio en estudio es muy difícil alcanzar un porcentaje de vegetación como el que se proyecta en la simulación debido a la estructura y los elementos que componen el barrio, sin embargo, mientras más aumente la vegetación y mejore su distribución, más homogénea serán las condiciones microclimáticas del barrio.

## ABSTRACT

The effects of climate change in the world will be disastrous for the population and will be focused on urban areas, therefore, it is essential to know the adaptation of measures, to mitigate its effects. Thus, the general objective of this study is to evaluate the effects of climate change on the urban microclimate and the current and potential role of urban vegetation in the air temperature of the San Pedro de la Costa I neighborhood of the city of San Pedro de la Paz, through the use of in situ temperature sensors analyzed in the ArcGis 10.3 environment using interpolation tools to visualize the behavior of neighborhood temperatures and their relationship with the vegetation present in it. And the Envi-met 4.5 program to perform spatial simulation models in order to analyze the behavior of the neighborhood with the projected climatic variations and alterations in vegetation.

The results show that the vegetation present in the neighborhood does influence the distribution of temperatures, and its increase, especially in tree-type vegetation, that could regulate the effects of the urban microclimate at present and in the future when temperatures increase as a result of the global change. Although the increase of vegetation in urban areas is the key to improving adaptation to climate change and regulating temperature, in the current study area it is very difficult to achieve a percentage of vegetation like the one projected in the simulation due to the structure and elements that make up the neighborhood. However, the more vegetation increases and its distribution improves, the more homogeneous the neighborhood's microclimatic conditions will be.



# **CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN**

The logo of the University of the Republic of Chile is centered behind the title. It features a shield with a blue background and a yellow center. The shield is topped with five white stars and surrounded by a laurel wreath. The shield is set against a light blue background.

## 1.1 Introducción

El cambio climático genera agudas consecuencias sobre el territorio mundial, los efectos son desastrosos para la población y se focalizan en las grandes ciudades, por lo que, se hace esencial intentar mitigar las acciones globales que intensifican y aumentan el cambio climático en las ciudades, asumiendo responsabilidades frente a actos desmedidos y planificando en torno a la sustentabilidad (IPCC, 2014). Para esto, en las ciudades se deben tomar decisiones clave, pues, es precisamente la concentración urbana la que produce los efectos de cambios ambientales más notorios en las ciudades, como la variación en la temperatura que genera islas de calor urbanas y microclimas urbanos. Si bien estos efectos son inminentes y cada vez más evidentes, aún se pueden generar medidas eficaces para contrarrestar los efectos del cambio climático en las ciudades mediante propuestas concretas de mitigación que cumplan con las necesidades que exige cada territorio en las distintas escalas que podría presentar una ciudad, ya sea a nivel metropolitano, comunal, sectorial o barrial. Esta investigación se focaliza en esta última escala, evaluado el rol de la vegetación como ente mitigador de los efectos del cambio climático y como regulador del microclima en un barrio.

El desequilibrio principalmente de temperatura y humedad dentro de las ciudades con respecto a su entorno rural es conocido como isla de calor urbana, también existen desequilibrios de este tipo a menor escala denominados microclimas urbanos (Tumini, 2012). Dentro de una ciudad pueden encontrarse distintos microclimas, los que pueden estar presentes en pequeñas áreas, como parques, barrios, entre otros, cada espacio posee condiciones y variables distintas que van a determinar las características del microclima, entre estas destaca la vegetación.

La vegetación ha demostrado ser determinante para la mitigación de los efectos del cambio climático; su tipología, distribución, tamaño y cantidad cumplen un rol fundamental (Ochoa de la Torre, 1999; Sarricolea *et al.*, 2008; Sarricolea & Romero, 2010; Vásquez, 2016; Zölch *et al.*, 2016). En todos los planes de adaptación al cambio climático del mundo se evidencia la relación que tiene la biodiversidad de vegetación con la mitigación de los efectos de cambio climático, principalmente en la regulación de las temperaturas y humedad, regular estos efectos dentro de las ciudades se hace fundamental en todas las escalas, por lo que, es necesario estudiar y fomentar el resguardo y el incremento de la vegetación urbana en todas las escalas posibles para que su uso sea totalmente efectivo y haga de las ciudades y los barrios lugares más eficientes y sustentables otorgándole confort a las personas.

Esta investigación busca evaluar los aportes de la vegetación urbana en el control de los efectos del microclima urbano, caracterizando la vegetación existente, simulando incrementos en vegetación y considerando las variaciones futuras asociadas al cambio climático. Para ello se usa como área de

estudio el barrio de San Pedro de la Costa I ubicado en la comuna de San Pedro de la Paz en la Región del Biobío, Chile.

## 1.2 Planteamiento del problema

El problema más grave que enfrenta la población mundial se relaciona con los múltiples efectos que produce el cambio climático que como su nombre lo dice, es una variación climática generada principalmente por las actividades humanas, a través de sus excesivas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que alteran la composición atmosférica global originando desequilibrios ambientales con graves consecuencias para las ciudades (Rossato *et al.*, 2015). Si no se toman medidas de mitigación aumentará la probabilidad de impactos graves, generalizados e irreversibles en las ciudades, sin embargo, con estrategias de mitigación existe la posibilidad de conseguir que los impactos del cambio climático permanezcan controlados, proyectando un futuro más sustentable (IPCC, 2014).

El mayor porcentaje de la población mundial vive en ciudades, por ende, la mayor cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero provienen de zonas urbanas, contribuyendo con las condiciones del tiempo a distintas escalas y la modificación del clima a largo plazo. Dentro de esta variación se encuentra la Isla de Calor Urbana (ICU) que se genera producto de un aumento de las temperaturas de la ciudad en comparación con su entorno de carácter natural y rural, siendo muy comunes en la mayoría de las ciudades del mundo evidenciando el impacto del hábitat construido (Rossato *et al.*, 2015). A menor escala y dentro de las ciudades se encuentra lo que se denomina microclimas urbanos (Oke, 1987; Tumini, 2012), reconocidos como variaciones climáticas producidas en espacios más pequeños generadas por elementos presentes en el hábitat del microclima como por ejemplo la vegetación, que aporta en la regulación de las temperaturas y humedad; o el comportamiento humano y sus emisiones de GEI a la atmosfera; o la cercanía a cuerpos de agua o parques urbanos, entre otros factores. Todos estos elementos van a ser determinantes en la regulación de un determinado microclima urbano.

Si bien, los efectos del cambio climático son inminentes, es realmente importante entender los beneficios de la biodiversidad de vegetación urbana en la mitigación de tales efectos. La vegetación, tiene la capacidad de capturar el dióxido de carbono y almacenarlo, además, regula el régimen hídrico mediante la intercepción de precipitaciones, regula la escorrentía conservando y protegiendo los suelos contra la erosión y conserva la biodiversidad, por lo tanto, su degradación incrementa las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuye la calidad de vida de la población aumentando su vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático (Moraga & Sartori, 2017 (MINAGRI)). Por estos beneficios asociados a la regulación de la temperatura y precipitaciones, la vegetación es clave para la mitigación de los efectos del cambio climático y el control del microclima urbano.

Las zonas urbanas se componen de una mezcla de factores naturales y antropogénicos que interactúan entre sí, por lo tanto, las decisiones de gestión que se tomen dentro de un sistema urbano afectan directa o indirectamente a la biodiversidad y altera el medio ambiente (por ejemplo, los cambios en la temperatura del aire y la radiación solar, la contaminación del aire, la compactación del suelo) y puede inducir cambios negativos en la estructura de la vegetación urbana (Nowak, 2010).

En Chile, el Plan de acción nacional de cambio climático 2017-2022 (MMA, 2016) indica que “Chile es un país altamente vulnerable al cambio climático pues cumple con la mayoría de los nueve criterios de vulnerabilidad previstos por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC); posee áreas costeras de baja altura; zonas áridas y semiáridas; zonas de bosques; territorio susceptible a desastres naturales; áreas propensas a sequía y desertificación; zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica; y ecosistemas montañosos”. Sin embargo, la mayor preocupación tiene relación con las ciudades pues en ellas habita la mayor parte de la población del país y por las características que presenta la urbanización podrían acentuarse las olas de calor y la demanda por el recurso hídrico, entre otros efectos negativos (MMA, 2017).

San Pedro de la Paz es una urbanización creciente, costera, relacionada directamente con humedales, lagunas y ríos, y se considera una comuna sustentable y pionera en compromisos de mitigación y adaptación al cambio climático. Sin embargo, al igual que muchas ciudades en Chile, en los últimos años el crecimiento urbano ha obligado a la ciudad a expandirse sobre el entorno natural de la comuna, por lo tanto, es necesario que las autoridades y la sociedad comprendan lo necesario que es el entorno natural próximo o inserto en la ciudad - llamado biodiversidad urbana – para mitigar los efectos del cambio climático y a su vez tomar conciencia responsable y sustentable en los procesos de planificación urbana. Dicho esto, se evaluará el rol que cumple la biodiversidad urbana particularmente la vegetación urbana para mitigar los efectos del cambio climático y para la regulación del microclima urbano a una microescala, para esto se escoge como área de estudio un barrio de la comuna de San Pedro de la Paz llamado San Pedro de la Costa I.

### 1.3 Hipótesis

Las temperaturas presentes en la comuna de San Pedro de la Paz, puntualmente en el barrio San Pedro de la Costa I no son extremas ya que se ubica en una zona litoral donde las máximas temperaturas no sobrepasan los 20° C en verano y no bajan de 5° C en invierno (MMA, 2016). Se estima que los efectos del cambio climático no van a tener un gran impacto sobre las temperaturas del aire de la comuna de San Pedro de la Paz. Sin embargo, a nivel microclimático, considerando una escala de barrio, sí se pueden generar diferencias importantes de temperatura producto de una configuración urbana con más o menos vegetación, siendo esto más relevante en términos de

temperatura que los efectos directos del cambio climático. Por lo tanto, el hecho de incrementar la vegetación es relevante y significativo para el control del microclima urbano, ya sea, en condiciones normales o bajo efectos de cambio climático, pues, es fundamental como medida de adaptación y mitigación. Al mismo tiempo, se incrementa la sustentabilidad, la calidad de vida del barrio y la regulación del microclima urbano, dependiendo no solo de la cantidad de vegetación urbana sino también del tipo que sea y de su distribución espacial.

## 1.4 Objetivos

### *1.4.1 Objetivo general*

Evaluar los efectos del cambio climático en el microclima urbano y el rol actual y potencial de la vegetación urbana en la temperatura del aire del barrio San Pedro de la Costa I de la ciudad de San Pedro de la Paz.

### *1.4.2 Objetivos específicos*

- Describir los efectos potenciales del cambio climático en el barrio San Pedro de la Costa I en términos de sus cambios en temperatura y precipitaciones, en invierno y verano, considerando los escenarios climáticos ajustados a Chile.
- Caracterizar el microclima urbano del barrio San Pedro de la Costa I para un día de invierno y verano utilizando datos provenientes de sensores *in situ* de temperatura.
- Analizar la estructura de la vegetación urbana del barrio de San Pedro de la Costa I mediante análisis espaciales.
- Modelar espacialmente el desempeño de distintas configuraciones de la vegetación urbana sobre el control del microclima urbano.

# CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO



## 2.1 Cambio climático en las ciudades

En el año 1950 solo el 30% de la población mundial era urbana (vivía en ciudades), hoy esa proporción aumentó a 54% y se proyecta que para el año 2050 el 66% de la población mundial habitará ciudades (ONU, 2014). En Chile se estima que el porcentaje de población urbana del país aumentaría su proporción pasando de 86,3% en el 2002 a 89,1% en el año 2035 (INE, 2019). Esta rápida urbanización genera impactos y desequilibrios ambientales de distinto alcance, los que están vinculados al consumo cada vez mayor de energía, suelo urbano y sistemas de transporte e infraestructuras, los que, junto con una creciente cantidad de residuos, han involucrado una huella antropogénica con una proporción cada vez mayor de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), contribuyendo al cambio climático (MMA, 2018; Sánchez *et al.*, 2013).

Ya que las ciudades son las que albergan el mayor porcentaje de la población mundial son también las más vulnerables al Cambio Climático producto del impacto que en ellas generan los fenómenos hidrometeorológicos y climáticos. Por ejemplo, las intensas lluvias podrían generar inundaciones afectando la movilidad urbana o provocar deslizamientos en terrenos de alta pendiente, también producto de las emisiones contaminantes se podrían dar situaciones críticas de contaminación del aire afectando a la población urbana (Conde *et al.*, 2013) ya que es en las ciudades donde se genera el mayor porcentaje de gases de efecto invernadero a nivel global alcanzando aproximadamente un 70% de las emisiones (MMA, 2018). El Panel Internacional para el Cambio Climático (IPCC) señala en su Quinto Informe de Evaluación (AR5), una larga lista de cambios climáticos observados en el mundo, incluyendo un aumento promedio de la temperatura global indicando que el proceso de la urbanización está estrechamente conectado con el cambio climático que impacta a las áreas urbanas siendo la influencia humana la causa dominante del calentamiento observado desde mediados del siglo XX, afirmándose además que tiene directa responsabilidad en el aumento de la concentración de GEI (IPCC, 2014). Se proyecta bajo los distintos escenarios de emisión que la temperatura promedio podría aumentar entre 2,6°C y 4,8°C para el año 2100 (MMA, 2018).

### *2.1.1 Impacto del cambio climático y adaptación en medios urbanos.*

El Informe Mundial Sobre Asentamientos Humanos (2011) señala que los datos están dando a conocer que el cambio climático presenta desafíos únicos para las áreas urbanas y su creciente población, por lo que, es fundamental entender los impactos del cambio climático sobre el medio urbano. Estos impactos son resultado de los cambios climáticos que podrían afectar al medio urbano (ONU- Habitat, 2011):

- Días y noches más cálidos en la mayor parte del área terrestre.
- Días y noches menos fríos en muchos puntos del mundo.

- Aumento de la frecuencia de periodos calientes/olas de calor en la mayor parte del área terrestre.
- Aumento de la frecuencia de episodios de lluvias torrenciales en la mayor parte del área terrestre.
- Aumento de las áreas afectadas por la sequía.
- Aumentos de intensidad de la actividad de ciclones tropicales en algunos puntos del mundo.
- Aumento del nivel del mar en algunos puntos del mundo.

Los impactos del cambio climático se evidenciarán en la mayoría de las ciudades del mundo, pero serán especialmente severos en las zonas costeras bajas donde se encuentran muchas de las ciudades más grandes del mundo (Strauss *et al.*, 2015). Aunque representan solo el 2% del área terrestre total, aproximadamente el 13% de la población urbana mundial vive en estas zonas, y la mayor concentración está en Asia. (ONU- Habitat, 2011)

El cambio climático se ha considerado como un problema ambiental ya que las ciudades se han visto expuestas a sus fenómenos y eventos naturales, pero es más bien un problema de desarrollo estructural que necesita dar adecuadas respuestas al cambio climático a través de un enfoque multidimensional y multidisciplinar sobre todo en las zonas urbanas ya que son clave para la eventual disminución del calentamiento global. La capacidad de respuesta de los países al cambio climático va a depender del nivel de desarrollo que éste presente, de las capacidades políticas nacionales y del contexto territorial de cada ciudad. Si bien históricamente los países ricos han contribuido la mayor parte de los GEI deberían ser estos los que asuman la mayor responsabilidad disminuyendo sus emisiones, sin embargo, las ciudades de los países en vías de desarrollo serán más afectadas, por lo que, los esfuerzos aquí se deben enfocar en la adaptación a estos cambios (Reid & Satterthwaite (IIDE), 2007).

Según el “Plan de adaptación para el CC en ciudades” (2018) las poblaciones urbanas de las ciudades del mundo deben responder a los efectos del cambio climático partiendo por comprender profundamente 4 factores ligados a este cambio y sus consecuencias. Así, desde el conocimiento se generaría una real responsabilidad de adaptación de las ciudades y los asentamientos humanos al cambio climático. Según MMA (2018), los factores clave para la adaptación de las ciudades son los siguientes:

- **Alcance de los eventos extremos:** Según el IPCC (2014), el cambio climático se manifiesta a través de una mayor frecuencia y magnitud de los episodios climáticos extremos.
- **Exposición a nuevas amenazas y cambios irreversibles:** A esta categoría pertenecen las amenazas tales como el aumento del nivel del mar, la exposición a enfermedades y los cambios irreversibles en las tendencias de temperaturas y precipitaciones, incluyendo cambios en sus patrones estacionales.

- **Capacidad limitada de infraestructuras y servicios urbanos:** Muchas ciudades en la actualidad han superado su capacidad para proporcionar servicios básicos e infraestructuras (transporte, salud, energía, recurso hídrico). Este escenario se agrava durante situaciones climáticas extremas, afectando la vida de las personas y bienes materiales.
- **Agravamiento de las deficiencias actuales:** Las deficiencias actuales se agravan por la presión demográfica y continuo aumento de la población urbana, generando muchas veces un crecimiento urbano forzado, detonante de procesos de urbanización incompletos y defectuosos, carentes de infraestructuras y servicios de calidad.

Ya que cada ciudad tendrá un nivel de exposición diferente es de suma importancia la evaluación en conjunto de todos estos elementos para definir así la vulnerabilidad a la que se enfrentan, guiando el proceso de adaptación a un desafío estructural donde todos los ámbitos de gestión y gobernanza se fortalezcan en la multisectorialidad y actúen bajo principios comunes y de alta coordinación, beneficiándose de la creciente y específica información técnico y científica existente sobre el impacto del cambio climático en los asentamientos humanos y las medidas de adaptación que se están llevando a cabo en conjunto con las ciudades del mundo para enfrentar estos efectos (MMA, 2018).

#### *2.1.2 Biodiversidad como respuesta al cambio climático.*

Dentro de los distintos métodos de adaptación al cambio climático se destaca el rol que cumple la biodiversidad, si bien el cambio climático tiene un gran impacto negativo en la biodiversidad, su protección y aumento es fundamental en el proceso de adaptación pues la conservación de la vegetación y los ecosistemas ofrece muchos servicios vitales para la adaptación al cambio climático (Reid & Swiderska, 2008), por ejemplo:

- Los humedales son muy importantes en la conservación de las crecidas hídricas.
- La vegetación previene la erosión en lugares con pendiente evitando así derrumbes en época de fuertes lluvias y, además, regula las temperaturas extremas de las ciudades.
- Las cuencas con cobertura vegetal desaceleran el caudal de agua lluvia a los ríos disminuyendo el riesgo de inundaciones río abajo.
- Los manglares protegen las costas reduciendo el impacto de las olas en las playas y de este modo protegen de los ciclones a las comunidades costeras.

A su vez, la biodiversidad a escala urbana entrega beneficios ambientales, económicos y sociales para el desarrollo positivo de ciudades y barrios, entre ellos, control de escorrentía, producción de alimentos, regulación térmica, recreación, cohesión social, polinización, entre otros.

Como las ciudades siguen creciendo y densificándose rápidamente, naturalmente se ha generado una pérdida de los ecosistemas que van siendo reemplazados por edificaciones, esta alteración en el estado de los ecosistemas genera a su vez una disminución en la provisión de los servicios

ecosistémicos que otorgan, como purificar el aire, retención de material particulado, y producción de oxígeno, controlar exceso de escurrimiento y problemas de erosión e inundaciones, moderar las temperaturas del aire por medio de la evapotranspiración y sombra, además de ser hábitat de especies silvestres y tener la capacidad de mantener ciclos ecológicos (Vásquez, 2016).

Por otra parte, la biodiversidad favorece la adaptación al cambio climático regulando sus impactos negativos, como reducir el consumo energético, sobre todo el usado para enfriamiento en verano y calefacción en invierno, además, contribuyen con la disminución de los efectos negativos de Islas de Calor Urbana (ICU) como el estrés y el discomfort térmico de la población mediante el efecto moderador de temperaturas que tienen los espacios verdes (Vásquez, 2016).

Cada vez se le otorga mayor importancia a los estudios relacionados con los beneficios que le entregan los espacios verdes a las ciudades y se profundiza ampliamente en el concepto denominado infraestructura verde, definido según Benedict y McMahon (2002) como “una red interconectada de espacios verdes que conservan las funciones y valores de los ecosistemas naturales y provee beneficios asociados a la población humana”. En la actualidad, es esencial planificar el desarrollo de una ciudad con una red de infraestructura verde que sea eficiente y otorgue funciones vitales para las ciudades, así como también es de primera necesidad mantener los ecosistemas de las áreas urbanas en buen estado y conservando sus características ecológicas, sociales y de protección ambiental, pues contribuyen con el bienestar económico, social y psicológico de las personas.

Existen distintos tipos de infraestructura verde y con el tiempo han ampliado su definición y los aportes que generan en las distintas escalas urbanas. En la microescala urbana se identifican los techos verdes, jardines verticales y plazas, que a escala de barrio se traducen en todos los espacios verdes presentes considerando calles arboladas, techos y paredes verdes, plazas, jardines privados, espacios abiertos institucionales, estanques y arroyos, caminos peatonales, ciclo rutas, cementerios, pistas deportivas, zanjas de inundación, pequeños bosques, áreas de juego, quebradas, patios de escuela, huertos y terrenos abandonados (Vásquez, 2016).

Según Bartesaghi-Koc *et al.*, (2016), la infraestructura verde puede clasificarse en cuatro categorías principales; copas de los árboles, espacios verdes abiertos, techos verdes y sistemas de vegetación vertical (fachadas/paredes) las que a su vez adquieren una gran diversidad de formas.

La infraestructura verde en todas sus formas y escalas se considera una medida clave para mitigar las altas temperaturas generadas por las islas de calor urbano y los otros impactos del cambio climático. Sin embargo, muchas veces se pasa por alto la función y eficiencia de cada tipo de infraestructura verde y se cree que solo es necesario aumentar el volumen de las áreas vegetadas, siendo que la cantidad, el tipo y la ubicación de cada infraestructura verde es fundamental para

implementar una buena planificación que identifique los efectos que podría generar en la temperatura urbana y definir la contribución real de cada tipo de infraestructura verde en las distintas escalas urbanas (Zölch *et al.*, 2016; De la Barrera & Reyes-Paecke, 2020).

Al respecto, Johannes Langemyer *et al.*, (2019) realizan un análisis que busca la eficiencia de los techos verdes basándose en distintos indicadores espaciales de demandas de servicios ecosistémicos y en alternativas de diseño de estos en la ciudad de Barcelona, como resultado se evidenció que hay ciertos tipos de servicios ecosistémicos que son de mayor aporte que otros en ciertos barrios de la ciudad, como a su vez hay diseños más *ad hoc* a las necesidades de infraestructura verde, de esta forma se considera la efectividad de los techos verdes como infraestructura verde en esta ciudad. Un estudio similar realizaron Teresa Zölch *et al.*, (2016) donde se profundiza en el tipo de infraestructura verde que tendría mayor incidencia en la regulación térmica a microescala y con proyecciones de temperaturas en aumento producto del cambio climático para el confort térmico de los peatones, siendo la plantación de árboles la que genera mayor impacto en la regulación promedio de la temperatura a diferencia del efecto que aportan los techos verdes que se considera insignificante, concluyendo que ubicar la vegetación en áreas expuestas al calor es más efectivo que solo aumentar la cobertura verde. Así, se evidencia que, para planificar las ciudades de forma más sustentable, es fundamental analizar las necesidades del área a estudiar y adaptar la infraestructura verde más adecuada (en tamaño/cantidad, ubicación y tipo) para que sea totalmente eficiente.

## 2.2 Clima urbano y factores que determinan el microclima urbano

Desde que la población mundial comienza a vivir en ciudades es que inicia un proceso de cambios en el uso del suelo, donde la cobertura natural del suelo pasa a ser de distintos tipos de materiales artificiales que afectan el balance energético natural de los eventos físicos y biológicos presentes en el lugar (Higuera & García, 2009). Esta transformación morfológica no solo ha tenido impacto sobre las características del terreno, sino que también ha modificado las condiciones climáticas y ambientales alterando los niveles de irradiación del suelo, reduciendo la evapotranspiración, aumentando la escorrentía superficial y disminuyendo la velocidad del viento (Fernández & Martilli, 2012). Producto de esto, las ciudades presentan un clima urbano característico, donde interaccionan las condiciones meteorológicas (temperatura, humedad, radiación, viento), las estructuras urbanas (edificaciones, materiales artificiales, infraestructuras verdes, etc.) y las actividades humanas (contaminación por emisiones de gases de efecto invernadero ya sea por transporte, industrias, calefacción, etc.) (De la Barrera & Reyes-Paecke, 2020). El rasgo más destacable producido por estas alteraciones se traduce en el aumento de la temperatura dentro de las zonas urbanas, haciendo que se identifiquen características climáticas diferentes a las del entorno rural próximo a las ciudades, los autores (Moreno, 1997; Salas & Herrera, 2017) coinciden que es en el año 1958

cuando Gordon Manley denomina este fenómeno como “Isla de Calor Urbana” siendo así utilizado este concepto por primera vez. Sin embargo, desde inicios del siglo XX investigadores germanos ya habían comenzado a medir la temperatura en distintas partes de la ciudad generando mapas de isotermas y definiendo más en concreto el concepto de isla de calor urbana y de esta forma el de microclima urbano (Tumini, 2012).

En la actualidad las técnicas de observación y estudio del clima urbano se han perfeccionado, el uso de la teledetección y los SIG como herramienta de integración y análisis son las más utilizadas para facilitar el cálculo del clima urbano, a su vez, existen muchos modelos de cálculos informáticos para estudiar aspectos específicos del clima dependiendo de lo que se requiera estudiar, ya sea a microescala o si se requiere la presencia de factores determinantes vitales para el análisis del clima, estos modelos se basan en los principios de la dinámica de fluidos y de termodinámica resumiéndose en la transmisión de onda (donde la fuente de energía es el sol y se considera el intercambio radioactivo en bandas de onda corta y onda larga) y el movimiento de flujos (que se considera el movimiento de los flujos de aire atmosféricos calculando los principios de la física de fluidos en diferentes condiciones ambientales) (Tumini, 2012).

Si bien el clima urbano basa su comportamiento en la comparación con su entorno rural (Isla de Calor Urbana), las ciudades van a conservar las condiciones climáticas de la región en que se asienta, y a su vez, sus efectos van a variar su nivel de impacto e intensidad dependiendo de las condiciones que presente la ciudad, sin embargo, solo el hecho que exista el clima urbano y por ende las islas de calor urbana hace alusión a un grado de contaminación del aire y para contrarrestarla se debe mejorar la calidad ambiental (Tumini, 2012). Por otra parte, las ciudades son muy importantes para enfrentar los efectos de los problemas ambientales actuales, si bien, representan el 2% de la superficie del planeta son las que albergan a más del 50% de la población, consumen más del 75% de los recursos naturales y producen más del 80% de las emisiones de gases a la atmósfera. Convirtiéndolas en zonas vulnerables a los efectos negativos del cambio climático a la vez que son claves en la reducción del calentamiento global y de la mitigación de sus impactos (Fernández & Martilli, 2012).

### *2.2.1 La escala como factor determinante de las características del clima urbano.*

El clima urbano es un clima regional que ha sido modificado por las características propias de la ciudad y se define por la diferencia con su entorno rural, sin embargo, existen escalas que van a definir la intensidad de las modificaciones climáticas que enfrentan las ciudades dependiendo de su tamaño y extensión. A escala regional el tamaño de la ciudad es la que va a definir cuan diferente será el clima urbano con respecto del clima regional, pero, a escala interurbana hay un complejo entramado de distintos microclimas que se definen según el trazado de la red vial, el uso de suelos, los materiales de asfalto y construcción o las distintas altura y orientación de los edificios (Fernández

& Martilli, 2012). Por lo tanto, los cambios climáticos que se producen dentro de la ciudad son determinados por los actos antropogénicos y son las actividades que se desarrollan en su interior las que definen la intensidad de las islas de calor urbana y los microclimas urbanos (Fuentes, 2015).

Ya es sabido que estas variaciones climáticas, principalmente de temperatura, ocurren a distinta escala y magnitud, dependiendo de las condiciones climáticas de su localización geográfica, del uso del suelo y de las características morfológicas de cada ciudad (Alarcón, 2019). Irina Tumini (2012), señala que lo que diferencia a la isla de calor urbana del microclima urbano tiene relación con la escala de medición de las variaciones climáticas que se evidencian dentro de la ciudad: la primera, contempla un espacio más grande, donde se analizan las variaciones climáticas producidas por el conjunto urbano donde lo que más influye esta medición son la topografía, fuentes de agua como ríos y lagunas, o grandes parques urbanos, acercándose a la definición de mesoescala que contempla una superficie de radio entre 10 y 200 km propuesta por Oke 1978 (Cordero, 2014); mientras que la segunda, se acerca más a una microescala que va de 1m a 1000m, abarcando las variaciones climáticas de sitios más reducidos donde se analiza la interacción de edificios, calles, pequeños jardines, etc. con la atmosfera.

La isla de calor urbana es el concepto que mejor define el clima urbano, se basa en la comparación con su medio rural y esas diferencias son las que permiten identificar el comportamiento climático de la ciudad. Algunos de los cambios más evidentes y generales que suceden en las ciudades tienen relación con la temperatura, principalmente el aumento de esta, especialmente de las temperaturas mínimas generando una reducción en el efecto de enfriamiento nocturno, además de una reducción de la amplitud térmica diaria lo que conlleva a la modificación de los picos de temperatura. También se genera una modificación en la distribución e intensidad de los vientos producto de los edificios y el calentamiento de las superficies de la ciudad y, por último, pero no menos importante, resultado de la baja evapotranspiración y los movimientos ascendentes de aire, la alteración en la cantidad e intensidad de las precipitaciones (Tumini, 2012). Se distinguen dos tipos de isla de calor urbana que son determinadas por los elementos que las forman, la manera de identificarlas y medirlas, los impactos generados y las formas para mitigarlas. Estas son la isla de calor atmosférica y la isla de calor superficial.

La isla de calor atmosférica representa la temperatura del aire entre las áreas urbanas y las rurales, que a su vez se divide en dos tipos:

- La isla de calor que se genera a nivel del suelo y que afecta directamente a los habitantes ubicados entre el suelo y el nivel de los techos y los árboles.
- La isla de calor que se genera por encima de los techos y árboles y que se extiende hasta los 1,5 km aprox. de altura, en este punto la trama urbana influye en la temperatura del aire.

En la isla de calor atmosférica la diferencia de temperatura entre las ciudades y sus entornos urbanos generalmente es de unos 3°C, sin embargo, la principal diferencia que se genera entre ambos entornos se da en la amplitud térmica diaria, siendo en las ciudades más baja. Se distinguen también por la escala en la que influyen, ya sea en la microescala, donde se observan las variaciones climáticas que se producen entre la atmósfera y los elementos urbanos en algunos metros de distancia, y la mesoescala, donde se analizan las variaciones climáticas producidas por el conjunto urbano, donde influyen factores como la topografía, cercanía a fuentes de agua o grandes parques urbanos en algunos kilómetros de distancia (Tumini, 2012).

Por otra parte, la isla de calor superficial indica las diferencias térmicas entre las superficies artificiales (pavimento, acera, techos, etc.) y las naturales (vegetación, cultivos, rocas, etc.) (Fernández & Martilli, 2012) y se generan cuando las superficies de suelos, techos y fachadas, registran una temperatura superior a la del aire, se producen de día y de noche y son más intensas cuando está despejado y el sol alto. Varían dependiendo del tipo de suelo, la radiación solar y la estación del año. En las zonas urbanas las islas de calor urbana superficiales son entre 10°C y 15°C más altas que la del aire, y en las zonas rurales esta diferencia oscila entre los 5°C y 10°C (Tumini, 2012).

### *2.2.2 La importancia de la vegetación urbana.*

Varios estudios son los que relacionan la vegetación (Ochoa de la Torre, 1999), los materiales de construcción y la adecuada planificación urbana (Caballero, s/f) con el clima urbano, pues son principalmente estos indicadores los que condicionan la intensidad de la isla de calor urbana y a menor escala la del microclima urbano. Las zonas con superficies pavimentadas y edificadas mayoritariamente absorben más calor (exceptuando algunos casos donde distintos tipos de materiales también pueden reflejar el calor a otros espacios) y provocan alteraciones en los flujos de transmisión entre el aire y el suelo, esto, unido a la falta de infraestructura verde, reduce la posibilidad de transformar la energía solar mediante procesos de fotosíntesis y evaporación. Existe una relación directa entre las altas temperaturas urbanas y la falta de cubiertas vegetales, por ende, la vegetación urbana en cualquiera de sus formas beneficia, a través, de los servicios ecosistémicos, la salud medioambiental de las ciudades (Chicas, 2012).

Las islas de calor urbana están presentes en la mayoría de las ciudades, sin embargo, su intensidad va depender de las características del área urbana. Las investigaciones demuestran que las temperaturas varían considerablemente cuando se comparan lugares altamente construidos y de baja vegetación con áreas urbanas que se encuentran próximas a fuentes de humedad, o parques urbanos, si bien, las diferencias de temperatura para cada caso de estudio son diferentes, siempre las islas frías se encuentran en lugares que mantienen alta vegetación (Sarricolea *et al.*, 2008; Sarricolea & Romero, 2010).

En la microescala se van a considerar ciertos tipos de infraestructura verde, se excluyen los grandes parques urbanos y humedales ya que estamos hablando de una superficie a nivel de barrio, de algunas cuadras de extensión, por lo tanto, los tipos de infraestructura verde que predominan se limitan a techos y muros verdes, plazas, jardines residenciales y privados, y arbolado urbano (Vásquez, 2016; Zölch *et al.*, 2016). Es necesario analizar la tipología de las infraestructuras verdes, ya que, además de los distintos tipos, es fundamental conocer la forma, el tamaño/cantidad y la ubicación espacial para definir su capacidad de regular la temperatura (De la Barrera & Reyes-Paecke, 2020; Zölch *et al.*, 2016).

### 2.3 Características y evaluación del aporte de la biodiversidad urbana en el control del microclima urbano

La conservación de la biodiversidad urbana se enfoca en promover una protección de las dinámicas ecológicas en distintas escalas, no solo en las especies presentes en la ciudad, depende de la interacción de dos factores escalares, uno mayor de patrones homogéneos característicos del ambiente y otro a menor escala de patrones heterogéneos de las características propias del lugar. Por lo tanto, la biodiversidad es determinada por factores jerárquicos a distintas escalas temporales. (Fernández & De la Barrera 2018). La biodiversidad urbana representa la historia ecológica de las ciudades y conservarla en sus diferentes escalas espaciales y temporales mejora el bienestar, la cultura y el ocio de los ciudadanos, sin embargo, el crecimiento urbano ha tendido a homogeneizar el tejido ecológico de las ciudades disminuyendo y dificultando sus beneficios y a la vez incrementando el desafío que esto representa para la planificación y el desarrollo sustentable de las ciudades (Herrera, 2008). La biodiversidad aparte de ser clave en la provisión de servicios ecosistémicos (fundamentales para la sobrevivencia humana), también tiene un rol primordial para solucionar o mitigar problemas ambientales como la contaminación (Fernández & De la Barrera 2018), y, además, es capaz de promover una estabilidad ecológica influyendo en la resistencia y resiliencia de la población a los cambios ambientales (Montoya, 2016).

Las áreas vegetadas influyen en la humedad, en la infiltración del agua, controlan la erosión, regulan la temperatura, retienen contaminantes atmosféricos y así, mitigan las islas de calor, además, actúan como corredores biológicos y ofrecen recreación, por lo tanto, indiscutiblemente son componentes que otorgan calidad de vida y sustentabilidad urbana (Alarcón, 2009). Es fundamental entender el rol de la vegetación ya que es la medida más efectiva para reducir las islas de calor urbana y regular el microclima urbano. Según Ochoa (1999) “los efectos de la vegetación en el microclima urbano se pueden clasificar en: directos, los que afectan a un edificio o zona particular, como las variaciones en la incidencia de la radiación solar y la velocidad y dirección del viento; e indirectos, los que afectan a una zona más amplia, un barrio o un conjunto de manzanas, variando la temperatura y humedad del aire “. Estudios afirman empíricamente que los árboles son el tipo de vegetación más efectiva en

la reducción de altas temperaturas pues dan sombra y enfrían producto de la evapotranspiración (Zölch *et al.*, 2016), además tienen la capacidad de reducir las emisiones provenientes de los vehículos y reducir el consumo de energía eléctrica para refrigeración en verano (por la sombra que ofrecen), y de calefacción en invierno (interceptando las ondas de viento) (Alarcón, 2009), en segundo lugar se encuentran las fachadas verdes que también presentan atenuantes significativos, por lo tanto, la vegetación es elemental para combatir los efectos del cambio climático en un microclima determinado y se debe localizar estratégicamente para una mayor efectividad (Zölch *et al.*, 2016).

En Chile, las áreas verdes no presentan una óptima efectividad porque se conciben como elementos urbanos independientes, sin conectividad con su entorno, fragmentadas y dispersas, limitando su funcionalidad y la conservación de la biodiversidad (Fernández & De la Barrera, 2018). Sin embargo, el comité científico de Cop 25 (2019) la Mesa Ciudades emitió el informe “Ciudades y cambio climático en Chile: Recomendaciones desde la evidencia científica” donde se especifican los beneficios ambientales, sociales y económicos que otorga la vegetación urbana, proponiendo impulsar medidas de protección, gestión y monitoreo del arbolado urbano como aporte a la infraestructura verde en las ciudades; planes estratégicos y proyectos públicos con inversiones focalizadas en proteger las áreas de biodiversidad urbana, dotar de resiliencia al borde costero, restaurar ríos urbanos y cursos de agua y mejorar la gestión de aguas lluvias; revalorizar el espacio público con vegetación urbana como soporte para la adaptación al cambio climático adecuando especies de vegetación a los climas y a las nuevas condiciones de riesgo. Si bien los objetivos del informe son presentar propuestas de acción en base a evidencia científica, articular posibles medidas que podrían implementarse, sugerir plazos e identificar las instituciones que debieran participar en ellas para reducir la vulnerabilidad en los asentamientos humanos frente al cambio climático en las ciudades del país, se hace muy complejo mientras no existan mecanismos adecuados para la toma de decisiones que sean claros con lo que significa el cambio climático urbano en profundidad. En este contexto, los avances seguirán siendo parciales y desarticulados (Muñoz *et al.*, 2019).

### *2.3.1 Elementos de la biodiversidad urbana relevantes para el control del microclima*

Según la revisión bibliográfica desarrollada por Bartesaghi-Koc *et al.*, (2017) el arbolado urbano ha sido clasificado dependiendo de su funcionalidad, referidos a extensión, ubicación, jerarquía, uso de la tierra y propósito; sus características estructurales, como tamaño, geometría y tipo de follaje; y los arreglos espaciales, si están aislados, densos, alineados con los otros elementos de la vegetación. Variados estudios sobre arbolado urbano resaltan su importancia para la adaptación climática por su capacidad de generar sombra y facilitar la evapotranspiración. Así, Teresa Zölch *et al.*, (2016) estudiaron la capacidad de distintas infraestructuras verdes que pueden disminuir la temperatura urbana principalmente en un microclima, destacando que los árboles son los que más disminuyen la temperatura y mejoran el confort térmico de la población que habita ese espacio. Por otro lado, Z.

Venter *et al.*, (2019) estudian la relación del calor urbano con la salud de la población, donde estima que la mantención y restauración de la cubierta arbórea proporciona una gran reducción de calor urbano, por lo que, cada árbol es capaz de mitigar la exposición a altas temperaturas de una persona sensible al calor. Cole *et al.*, (2014) ha desarrollado diversas medidas de mitigación de islas de calor urbana en Estados Unidos, aplicando distintos tipos de estrategias relacionadas a la vegetación destacando particularmente la presencia de árboles dentro de la ciudad, ampliando su cuidado y potenciando su óptimo uso.

Otro elemento de biodiversidad urbana relevante, especialmente en el último tiempo, son los techos verdes, también conocidos como techos ecológicos y techos vivos. En la recopilación bibliográfica de Bartesaghi-Koc *et al.*, (2017), se caracterizan los distintos tipos en base a la extensión espacial, las dimensiones, el grosor del sustrato, la intensidad de uso, el nivel de mantenimiento y el tamaño de la vegetación, de esta forma, se dividen en techos verdes intensivos y extensivos, siendo los intensivos capaces de sostener especies vegetales más grandes que los extensivos, mientras estos sostienen 122 kg/m<sup>2</sup>, los intensivos pueden sostener hasta 732 kg/m<sup>2</sup> (Gallagher, 2019), también existen los techos semi- intensivos y naturalizados.

Los techos verdes han demostrado ser más importantes en la regulación de la temperatura dentro de los edificios que en el control de la temperatura urbana, sin embargo, si se genera un aumento del área cubierta por techos verdes si podrían regular la temperatura urbana (De la Barrera & Reyes-Paecke, 2020), si bien el efecto regulador de la temperatura urbana de los techos verdes es menor al de la cubierta de árboles (Zölch *et al.*, 2016), existen otros beneficios que aportan una amplia gama de servicios ecosistémicos, sobre todo en barrios altamente densificados, dependiendo de distintos factores de ubicación, tamaño y especies cultivadas, ganando impulso como reguladores funcionales de servicios ecosistémicos (Langemeyer *et al.*, 2019).

Por otra parte, los muros verdes son aquellas infraestructuras verdes asociadas a un sistema de vegetación vertical, se clasifican según su soporte, tipos de plantas y nivel de mantenimiento requerido (Bartesaghi-Koc *et al.*, 2017). Se dividen en “fachadas verdes” y “paredes vivas”, las “fachadas verdes” corresponden a aquella vegetación vertical que se mantiene conectada al suelo mediante raíces, como las enredaderas, que utilizan el muro para escalar o bien un sistema de reja o malla que permita sostenerlas. Y las “paredes vivas”, a diferencia de la anterior, es un sistema de vegetación vertical estructurado con macetas o cajas donde se planta la vegetación que luego es suspendida en una estructura construida verticalmente siendo un sistema más complejo, con mayor costo de instalación y mantenimiento (Bartesaghi-Koc *et al.*, 2017; De la Barrera & Reyes-Paecke, 2020).

El aporte de los muros verdes en la regulación de la temperatura de los edificios es particularmente importante, ya que, genera edificaciones más eficientes con respecto a la energía utilizada en

calefacción o refrigeración para mantener las condiciones de confort necesaria, según Julià Coma *et al.*, (2017) ambos sistemas tienen el potencial de mitigar el calor y por ende, ahorrar energía, sin embargo, en la comparación que realizaron se evidencia un mayor rendimiento de enfriamiento en las paredes vivas con un 58,9% de ahorro, en contraste con el 33,8% que presentan las fachadas verdes.

Antes de finalizar esta sección, es importante hacer notar que existe un gran conjunto de otros espacios verdes, dentro de las cuales se pueden nombrar las plazas, los jardines residenciales y los huertos presentes dentro del área urbana que predominan en barrios residenciales. Las plazas son superficies de terreno destinada preferentemente al esparcimiento o circulación peatonal, conformada generalmente por especies vegetales y otros elementos complementarios construidos, las plazas son generalmente de uso público y reúnen las características de áreas verdes (Arcos, 2016). Estos espacios verdes son importantes para definir estrategias de planificación e intervención dependiendo de la escala espacial, la dimensión y la ubicación, del propósito que tenga el uso de esta cobertura, su accesibilidad (privado/público) y por último las características de la superficie (permeabilidad, cantidad de cobertura vegetal, atributos térmicos) (Bartesaghi-Koc *et al.*, 2017). La relación entre el aumento, la calidad y la ubicación entre estos espacios verdes como jardines y huertos residenciales, plazas ubicadas dentro del mismo barrio y calles arboladas contribuyen a mitigar las temperaturas extremas en la microescala, sin embargo, estas deben estar estratégicamente ubicadas y relacionadas entre ellas para que puedan formar un sistema que alivie las temperaturas y faciliten la transferencia horizontal del efecto de enfriamiento, sino, se va a disminuir este efecto (De la Barrera & Reyes-Paecke, 2020).

### *2.3.2 Herramientas geográficas para evaluar el rol de la vegetación urbana en el microclima*

Existen diversas herramientas para evaluar el aporte de la vegetación al control de la temperatura y del microclima en general. Entre estas destaca la teledetección (imágenes satelitales), las mediciones in situ con sensores de temperatura, y la modelación espacial y microclimática.

En primer lugar, la teledetección es la técnica de obtención de datos a través de imágenes satelitales capturadas por sensores instalados en plataformas espaciales, o bien imágenes aéreas capturadas por radares ubicados en aviones que sobrevuelan áreas de estudio (IGN, 2018). Se utiliza principalmente cuando el área que se quiere estudiar está demasiado lejos por lo que es mayormente utilizada para evaluar las condiciones de la superficie de la Tierra a gran escala. Con este sistema se puede medir la temperatura, el albedo, la humedad, la emisividad y la irradiación de las superficies (Tumini, 2012). Se utiliza la teledetección como herramienta de análisis de las diversas características de la superficie de la Tierra, si bien, la calidad de los datos es proporcional a la calidad

de la imagen, es importante destacar que esta última puede presentar algunos errores de captura y en la transmisión de datos como, ruido cósmico o dificultad en la visualización producto de nubes o contaminación (Tumini, 2012). Por lo tanto, los resultados son consistentes, sobre todo cuando se trata altas extensiones de tierra, sin embargo, no logra plasmar concretamente la información cuando se trata del análisis de temperaturas en la microescala, por lo que, generalmente se deben complementar con otros métodos de medición de temperatura para validar los datos.

Un ejemplo de lo que se realiza en teledetección es que a partir del índice normalizado de diferencias vegetales (NDVI), obtenido de las imágenes satelitales, se pueden observar las variaciones de la vegetación, ya sea, en distintas estaciones del año o distintos tipos de vegetación dentro de una ciudad, siendo muy utilizado en el estudio de la intensidad de las islas de calor urbana (Sarricolea *et al.*, 2008). En el trabajo de Venter *et al.*, (2019) utilizan las imágenes satelitales (Landsat 8) para obtener el NDVI y explorar la correlación entre la temperatura de la superficie del suelo y la temperatura del aire con la infraestructura verde para analizar la salud de las personas en Oslo, Noruega, en base a su nivel de exposición al calor. Por otra parte, Hugo Romero *et al.*, (2010) utilizan el programa ENVI 4.5 e Idrisi Andes para analizar imágenes satelitales (ASTER) y obtener las variables ambientales de Coberturas Vegetales y Temperaturas de Emisión Superficial, para posteriormente identificar las comunas de Santiago donde se registren mayores temperaturas y su correlación con la distribución de la vegetación desarrollando una amplia relación entre las zonas termales y las condiciones socioeconómicas de la población de las comunas estudiadas de Santiago. Inostroza *et al.*, (2016) utilizaron la teledetección para desarrollar un índice que busca determinar la vulnerabilidad al calor en las escalas locales y a escala intraciudad en Santiago en base a datos proporcionados por el software ENVI que se derivan de imágenes satelitales Landsat y aparte, datos de capacidad de adaptación, utilizando el software *ArcGis 10* para calcular las estadísticas espaciales y determinar los niveles de vulnerabilidad al calor.

Respecto a la medición de temperatura, ésta permite obtener datos más precisos en distintos niveles y a baja escala, y se habla de dos capas de estudio: *Urban Canopy Layer* (UCL) y *Urban Boundary Layer* (UBL). La primera contempla desde la superficie del suelo hasta los techos de los edificios (microescala) y se mide generalmente con sensores de temperatura ubicados a pie de calle en puntos específicos de la trama urbana protegidos de la radiación directa y con una correcta ventilación; y la segunda, que corresponde a la capa de la atmosfera entre la UCL y hasta los 1,5 km aproximadamente (mesoescala) donde los sensores son ubicados en altos edificios, globos de altura, o sistemas de radiosondas, entre otros (Tumini, 2012).

Las mediciones *in situ* son utilizadas por muchos investigadores para estudiar la “temperatura percibida”. Venter *et al.*, (2019) indican que las mediciones terrestres de la temperatura del aire son más relevantes en estudios relacionados con la salud humana pues se acerca más a la percepción de las personas y además son mejores para medir islas de calor urbana nocturnas, esto lo confirman

Sarricolea *et al.*, (2008) con su estudio sobre las islas de calor urbana nocturna donde complementa el uso de estaciones fijas de medición de temperatura y estaciones móviles, las fijas corresponden a termógrafos digitales que registran la temperatura cada 15 minutos y durante varios días, siendo capaces de densificar la cantidad de puntos considerados y colaborar con la corrección del desfase temporal que podrían tener las mediciones de una estación móvil de medición de temperatura utilizada en un vehículo que recorre la ciudad durante los días y horarios necesarios cubriendo distintos puntos de medición. Utilizando estaciones móviles fue como Jonghoon Park *et al.*, (2016) concluyeron que los espacios verdes son capaces de mitigar las islas de calor urbana y, además indican que dependiendo del tipo de infraestructura verde y de su distribución pueden optimizar aún más su efecto de enfriamiento.

Así, los sensores de temperatura de este tipo pueden ser ubicados en sitios estratégicos para medir la temperatura en distintas áreas de la ciudad con características particulares, ya sean áreas con alta vegetación, próximas a lugares con vegetación o que presenten un alto nivel de urbanización para facilitar la comparación de las temperaturas in situ y obtener resultados más específicos, sobre todo a baja escala.

Finalmente, en relación al uso de softwares de modelación, éstos han evolucionado y su uso reciente ha permitido generar simulaciones mucho más precisas, capaces de considerar más variables y mejorar la percepción de los procesos que ocurren dentro del entorno urbano. Existen varias herramientas de este tipo para calcular las condiciones climáticas, por lo que, su utilización va a depender de los objetivos específicos que se quieran resolver, su elección va a estar influenciada por la magnitud escalar que se requiera, hay softwares más utilizados para estudiar procesos en la microescala y otros en la mesoescala, resulta difícil encontrar uno que logre definir un único sistema multiescalar, por lo que, es necesario tener claro el objetivo para utilizar la herramienta más ad hoc. Otras condiciones para elegir softwares corresponden al input de datos, en algunos casos necesitan requerimientos especiales que pueden ser de difícil acceso y, aparte, existen softwares de uso libre y otros que no están disponibles aún para uso público, lo que dificultaría su uso, por lo que, estas características son considerables al momento de elegir el tipo de software que se va a usar (Tumini, 2012).

Algunos de los softwares que se utilizan para simular las condiciones climáticas según la investigación que desarrollo Tumini (2012) son: SUNtool, que utiliza al sol como fuente principal de energía para realizar una modelación a partir de la estimación de las obstrucciones solares en los espacios urbanos; SOLENE que es similar al anterior pero enfocado en la evaluación climática en el diseño arquitectónico y los edificios de un espacio urbano; RayMan, este es un modelo bioclimático que es muy asertivo para evaluar las características termo fisiológicas de las personas, utilizado principalmente para el estudio de índices de confort térmico en las zonas urbanas; URSOS, corresponde a una herramienta de simulación de sostenibilidad urbana mezclando la evaluación

energética para edificios con criterios de sostenibilidad, empleada mayormente para el diseño de nuevos proyectos urbanos y; ENVI-met, que tiene como objetivo simular la interacción entre superficies construidas, vegetación y atmosfera en un entorno urbano a microescala basado en modelos de fluidodinámica y termodinámica (Bruse, 2004).

ENVI-met ha sido el preferido por los investigadores pues a diferencia de los otros, es de fácil acceso y uso, además con él se pueden desarrollar simulaciones contemplando la relación entre más variables y de esta forma se pueden obtener amplios resultados convirtiéndolo en una herramienta más completa. La característica que más destaca en este software es que permite evaluar el efecto de la vegetación tanto a nivel de la absorción y reflexión de la radiación solar como de la evapotranspiración, siendo muy útil para identificar la vegetación como ente regulador del microclima urbano, además, se caracteriza por su nivel de detalle con resolución horizontal entre 0.5 y 10 metros y un marco de tiempo de 24 a 48 horas, con un intervalo de 1 a 5 segundos (Tumini, 2012; Bruse, 2004; Lobaccaro, 2015). Esta herramienta ha sido utilizada en diversas investigaciones y para desarrollar diferentes objetivos, entre ellos destaca el estudio del confort térmico exterior y la directa relación que este presenta con los elementos de la vegetación, siendo capaz de analizar distintos escenarios para definir cual resulta ser más adecuado para mejorar la temperatura equivalente fisiológica correspondiente al confort térmico (Lobaccaro & Acero, 2015; Tumini, 2012). Además de ser muy útil para medir el nivel de mitigación de los distintos tipos de vegetación y su distribución al estrés por calor causado por las islas de calor urbana y los efectos del cambio climático en el microclima en condiciones actuales también lo hace para escenarios futuros proyectados (Zölch *et al.*, 2016).

# **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**



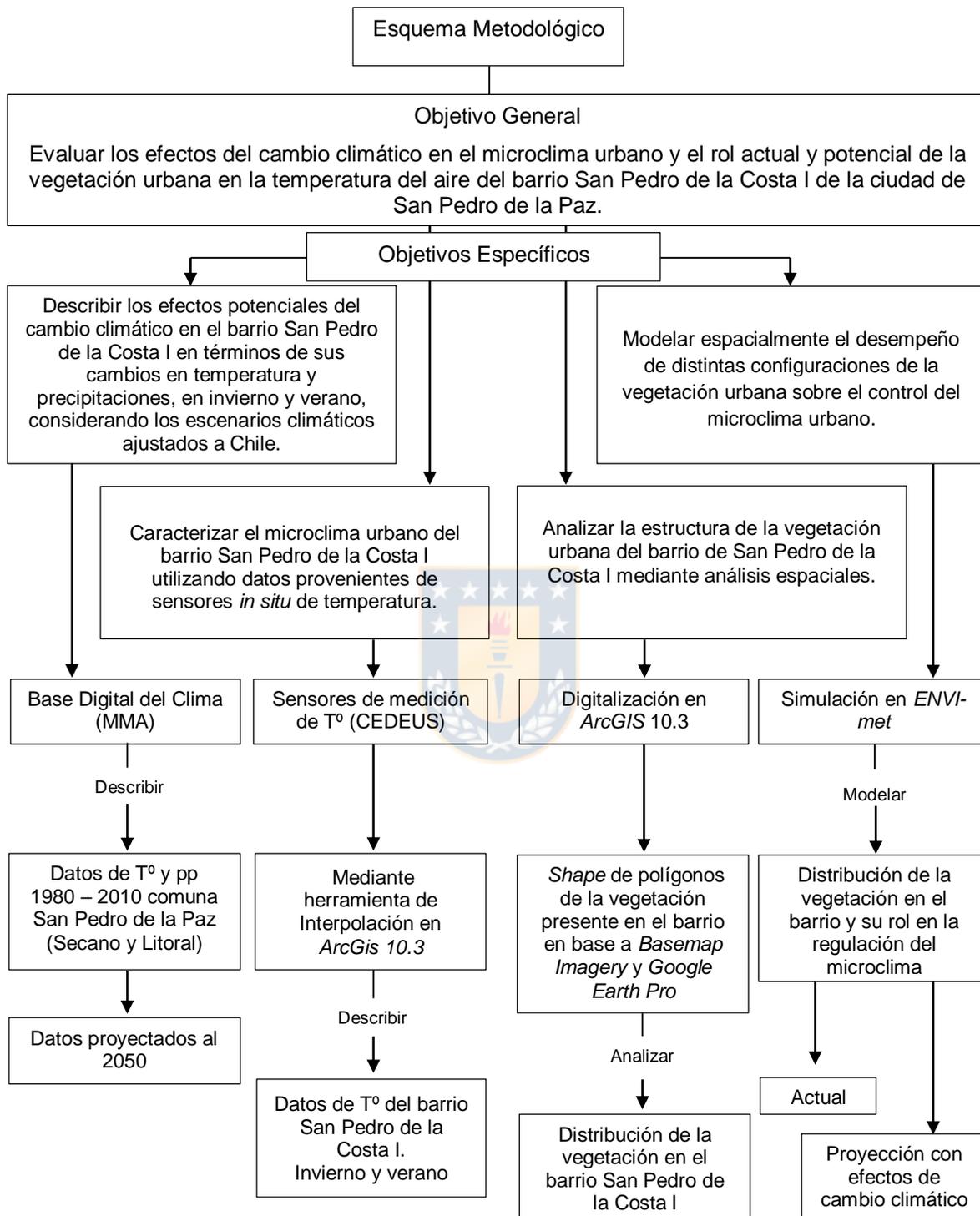
### 3.1 Metodología

La metodología empleada para la siguiente investigación se basa en la evaluación de las condiciones climáticas actuales y las variaciones que éstas presentan frente a diferentes escenarios donde se aumente la vegetación urbana para entender cómo influye esto en el control del microclima urbano y a su vez, proyectarlo a las condiciones latentes de cambio climático para entender de qué forma contribuye en el control del microclima bajo efectos de cambio climático (aumento de las temperaturas), aplicados al caso de estudio del área San Pedro de la Costa I de la comuna de San Pedro de la Paz.

En primer lugar, se realizó una búsqueda bibliográfica para identificar en su extensión los lineamientos temáticos necesarios para cumplir con los objetivos de la investigación, este trabajo de gabinete plasma los efectos del cambio climático para las ciudades a nivel mundial y nacional y los relaciona con las variaciones climáticas en la micro escala como es el microclima urbano, de esta forma se obtiene la relación de ambos conceptos y se contraponen con la importancia que tiene la biodiversidad urbana, principalmente la vegetación, en el control del microclima urbano actual y además en el control del microclima urbano proyectado a un escenario futuro (2050) bajo condiciones de cambio climático.

Para concretar el objetivo general de esta investigación se van a desarrollar cuatro objetivos específico, por esta razón la metodología se divide en cuatro partes como se observa en la Figura 1; primero, se van a describir las condiciones climáticas actuales y los escenarios futuros considerando las variaciones producidas por el cambio climático correspondientes a San Pedro de la Paz, se mantiene la escala comunal con el fin de poner en contexto el entorno territorial en el que se encuentra el barrio que se va a estudiar; segundo, se describirá el microclima presente en el barrio de San Pedro de la Costa I mediante sensores de temperatura ubicados en puntos específicos del lugar y analizarlos con el programa *ArcGis 10.3*; tercero, se analizará la estructura urbana del área de estudio y se identificará la vegetación presente para poder clasificarla y conocer los espacios óptimos para la proyección vegetal; y cuarto, modelar el barrio con el programa *ENVI-met* con el fin de plasmar la incidencia que tiene y podría tener la vegetación en el control del microclima urbano y en la adaptación y mitigación a los efectos del cambio climático.

**Figura 1: Esquema Metodológico.**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2 Área de estudio

El área de estudio específica es el barrio San Pedro de la Costa Etapa I, ubicado en la comuna de San Pedro de la Paz, se escoge esta área pues es un barrio relativamente nuevo que nace como un proyecto social que se encuentra bastante segregado, donde además existe un bajo nivel de vegetación lo que facilita la comparación de las temperaturas actuales con una proyección de temperaturas donde exista mayor cantidad de vegetación, se observa su localización en la figura 2.

La comuna de San Pedro de la Paz pertenece al Área Metropolitana de Concepción ubicada en la Región del Biobío. Limita al norte con la comuna de Hualpén, al sur con la comuna de Coronel, al noreste con la comuna de Concepción y al oeste con el océano Pacífico, a 36° 50' de latitud Sur y 73° 07' de longitud Oeste. Concentra una población total de 131.808 habitantes de los cuales 99,9% habita en áreas urbanas según el Censo del año 2017 siendo una de las comunas más pobladas de la región. Durante las últimas décadas la comuna experimentó un aumento significativo en el área residencial que se fue insertando en un territorio natural de gran valor paisajístico y ambiental rodeado de ecosistemas cordilleranos, lacustres, humedales, costa y estuarios. En la actualidad esta expansión demográfica se relaciona con problemáticas comunales de déficit de infraestructura, desigualdad social y deterioro ambiental. La conectividad es una de las problemáticas más evidentes de la comuna pues la ruta 160 que conecta las comunas aledañas atraviesa la ciudad generando una elevada congestión vehicular y la desarticulación del sistema barrial.

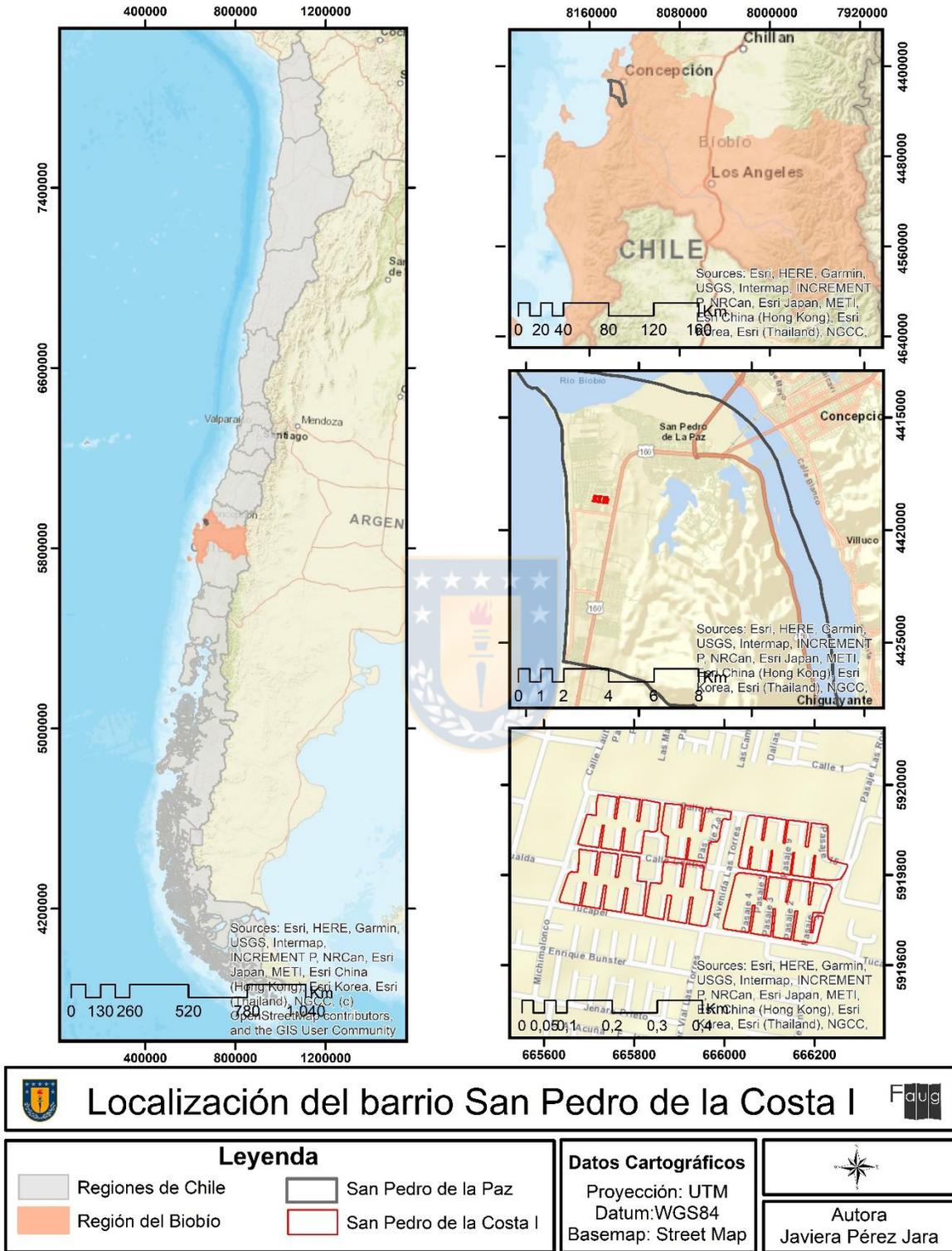
El Barrio San Pedro de la Costa se ubica en el sector poniente de San Pedro de la Paz a un costado de la Ruta 160, muy cerca de la costa (emplazado en un sitio con características de dunas) y lejos del centro de la ciudad, 2.800 viviendas componen este barrio que surgió como un proyecto de gestión social para dar solución habitacional a familias de alta vulnerabilidad de la provincia de Concepción dividida en cuatro etapas que finalizan en 2006 con la última recepción de las viviendas.

La primera etapa de San Pedro de la Costa constituye un barrio con un total de 850 viviendas en un total de 16,5 hectáreas y su construcción finaliza en el año 2005 pero no es hasta 2009 que se asienta infraestructura de equipamiento (colegios, CESFAM, supermercado, carabineros) y hasta 2013 para que se consolidaran áreas verdes. Su superficie se distribuye en 45,9% en uso habitacional, 39% destinado a calles y pasajes, 9,37% a áreas verdes y un 5,36% a infraestructuras de equipamiento (Bastías, 2014). Es un barrio que presenta una alta densidad urbana y un evidente aislamiento físico, se encuentra segregado de las otras etapas y además su movilidad depende totalmente de la Ruta 160, que a su vez es la única conexión que tiene San Pedro de la Paz con el resto del área metropolitana de Concepción. La calle principal del barrio es Calle Central por donde transita el transporte público, 15 pasajes conectan con esta calle y además en ella se ubican las áreas verdes del barrio, dos plazas justo al norte de esta y dos al sur como se muestra en la Figura

3, ubicándose en el centro del barrio y perpendicular con Avenida Las Torres que conecta con los barrios vecinos de forma paralela a la Ruta 160.

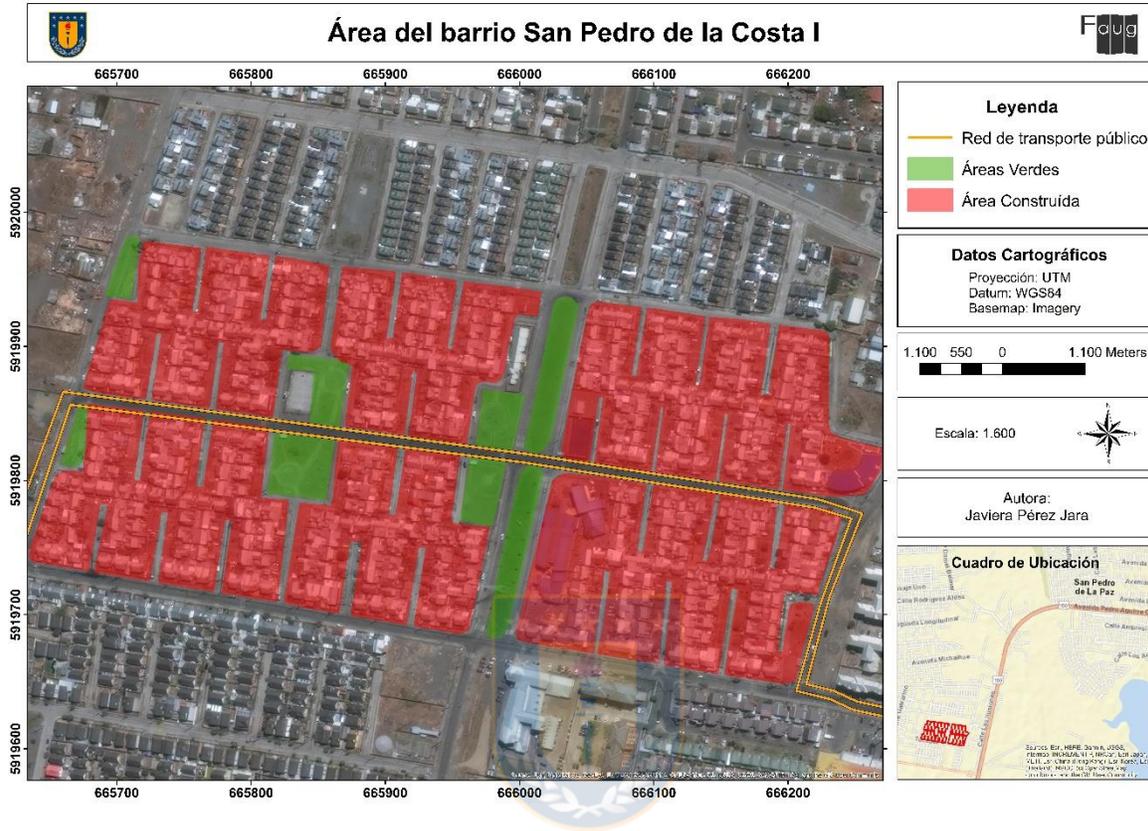


Figura 2: Localización espacial del barrio San Pedro de la Costa I.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3: Barrio San Pedro de la Costa I. Se destacan las áreas construidas, las áreas verdes y la red de transporte público.**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3 Descripción de los efectos del cambio climático proyectados para San Pedro de la Paz.

Para concretar este primer objetivo se utilizó la Plataforma Digital de Cambio Climático (Base Digital del Clima) que corresponde a una iniciativa de la División de Cambio Climático del MMA en cumplimiento del Plan Nacional de Cambio Climático (2014) y del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANCC) 2017-2022. El objetivo de la Plataforma es: contar con una plataforma digital en línea que reúna y sistematice toda la información relacionada al Cambio Climático en Chile incluyendo estudios, reportes, informes y otros materiales asociados a la temática permitiendo la conexión con otros sistemas de información chilenos. El desarrollo de la Plataforma está a cargo de la Oficina de Tecnologías de la Información en coordinación con el Departamento de Adaptación y Desarrollo de Capacidades de la División de Cambio Climático.

El estudio "Datos de línea base (1980-2010) y proyección al 2050 por comunas" fue desarrollado en julio del 2016 por Información para el Desarrollo Productivo Ltda. (INFODEP) encargado por el Ministerio del Medio Ambiente, Departamento de Cambio Climático y elaborado en el marco del Proyecto "Tercera Comunicación Nacional sobre cambio climático".

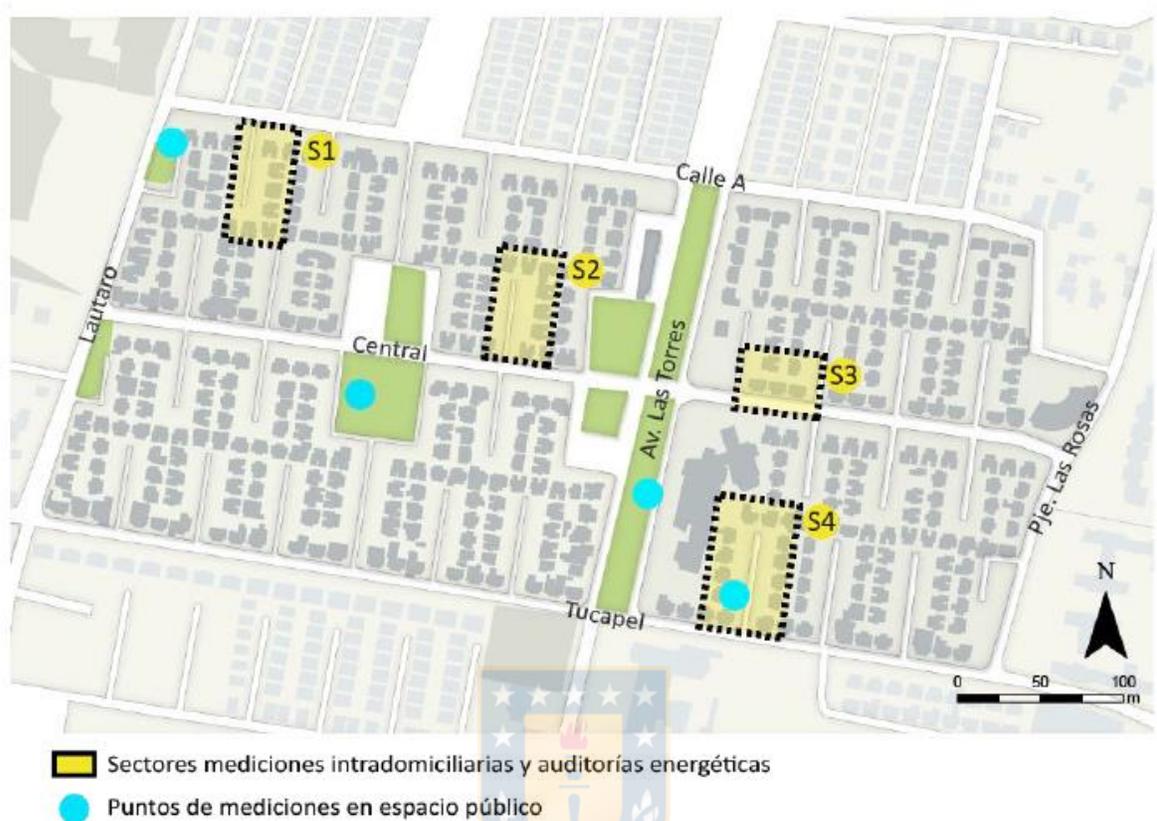
En la Base Digital del Clima se encuentran datos de temperatura y precipitación y sus proyecciones para las comunas del territorio nacional. Se observan gráficos de barra que comparan las temperaturas (máxima estival, mínima estival, máxima invernal, mínima invernal, media del periodo estival y media del periodo invernal) y precipitaciones (normal anual, anual más baja y anual más alta) de una línea base de los años 1980 a 2010 con las temperaturas y precipitaciones de un futuro escenario en el año 2050. Por lo tanto, en base a la información contenida en esta Base Digital del Clima se evaluarán los datos correspondientes a la zona litoral de la comuna de San Pedro de la Paz de la Región del Biobío.

#### 3.4 Descripción del microclima del barrio en base a sensores de temperatura *in situ*.

El análisis de las temperaturas de las áreas verdes es relevante para comprender las características que presentan las zonas con vegetación, principalmente arbórea o arbustiva y para determinar su rol en la regulación del microclima del barrio. Investigaciones han basado sus estudios en la comparación de las temperaturas medidas a través de sensores *in situ* entre zonas con vegetación como parques urbanos o áreas verdes y su entorno construido, determinando que la variación entre ambas áreas será más amplia en barrios cuyo entorno construido no presenta vegetación o presenta muy poca, pues, es insignificante para equilibrar esta diferencia y regular el microclima del barrio, en cambio, en los entornos aledaños a parques urbanos o áreas verdes que si exista un nivel de vegetación, ya sea, en espacios públicos como arbolado o privados como jardines/antejardines o patios, esta brecha entre sus temperaturas sería más baja, por lo que, la variación estaría más controlada beneficiando la calidad de vida de la población del barrio y potenciando la sustentabilidad del mismo (De la Barrera & Henríquez (2016); De la Barrera *et al.*,(2019)).

Para poder describir las características climáticas propias del barrio se van a analizar los datos adquiridos por el Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS), quienes registraron la temperatura al interior de 16 viviendas para estudiar las condiciones de habitabilidad de la población y el nivel de confort térmico de las casas de San Pedro de la Costa I, y aparte, en 3 áreas verdes dentro del barrio para estudiar la temperatura en lugares de mayor vegetación con el fin de comprender el rol de esta en la regulación del microclima, en la figura 4 se pueden observar las áreas donde se ubicaron los sensores. Las mediciones se realizaron durante los meses de julio y agosto de 2019 (datos de invierno) y durante enero y febrero del 2020 (datos de verano) utilizando sensores del tipo IButton que registraban la temperatura cada 30 minutos en invierno y 10 minutos en verano con una resolución de 0.065° y una precisión de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  (CEDEUS, 2019).

Figura 4: Áreas de medición de temperatura domiciliaria y de espacios públicos.



Fuente: CEDEUS (2019)

De los datos adquiridos por CEDEUS para el período de invierno se utilizan las mediciones correspondientes a 3 sensores de temperatura ubicados en áreas verdes de carácter públicas y a 11 sensores ubicados en antejardines privados, los sensores ubicados en lugares públicos se encuentran en: un árbol ubicado en Calle A con Lautaro en un sitio eriazo, en un arbusto en la plaza ubicada al sur de la calle Central y otro en un árbol dentro del Pasaje 4. Los sensores en lugares privados ubicados en los antejardines de las viviendas se distribuyen de la siguiente forma: tres sensores en el Pasaje 36, uno en Calle A, dos en el Pasaje 30, uno en Calle Central y cuatro en el Pasaje 4. Sumando un total de 14 sensores de medición, como se observa en la figura 5.



Figura 6: Ubicación sensores de temperatura de verano.



Fuente: Elaboración propia en base a ubicación de sensores (CEDEUS).

Durante el período de medición se obtienen muchos registros siendo necesario acotar la información, de esta forma, se escoge un día en particular para invierno y verano para iniciar el proceso de interpolación, el día más frío del período de invierno y el más cálido del período de verano. Las mediciones realizadas al interior de las viviendas no son relevantes para este estudio siendo descartadas. Los datos serán extraídos de los sensores y traspasados a una planilla de *Excel*, desde este formato se elige el día 19 de agosto para representar el invierno y el día 09 de febrero para el verano, de ellos que se van a utilizar tres promedios de temperatura calculados entre las 05:00 y 07:00, 14:00 y 16:00, y 18:00 y 20:00 horas para representar las temperaturas durante la mañana, la tarde y el atardecer respectivamente con el fin de interpolar estas temperaturas para visualizar las temperaturas de todo el barrio en base a los datos existentes. Para resolver esto, se crea un *Shape* de puntos en *ArcGis 10.3* en base a una planilla de *Excel* que contenga la información espacial de los sensores y los promedios de temperaturas en los horarios correspondientes para luego generar la interpolación de datos.

La interpolación de datos espaciales se considera parte de la geo estadística, pues encuentra los resultados de valores desconocidos a partir del cálculo de otros valores conocidos, en este caso, en base a los datos de temperaturas entregados por los sensores, la interpolación espacial va a realizar una estimación de las temperaturas para el resto del barrio donde no hay mediciones *in situ*. El proceso de interpolación se desarrolla ubicando en la caja de herramientas de *ArcGis 10.3* la

herramienta *Interpolation*, existen distintos métodos de interpolación, en este caso se utiliza el método denominado *IDW (Inverse Distance Weighting)*, el que pondera los puntos de muestreo durante el proceso, por lo que, de esta manera la influencia de un punto sobre otro dependerá de la distancia existente entre ellos, a medida que aumenta la distancia entre ellos, la influencia de este punto será menor sobre los otros (Quesada, 2019).

### 3.5 Digitalización de la distribución de la vegetación en el barrio

Para desarrollar este objetivo es fundamental reconocer e identificar los tipos, la cantidad y la distribución espacial de la vegetación existente en el barrio de San Pedro de la Costa I, de esta forma se desarrollará una caracterización de las estructuras actuales de la vegetación urbana presente en el lugar.

El proceso de identificación se inicia con visitas al lugar para observar en terreno las características de la vegetación presente en veredas, jardines particulares, bandejones centrales y cualquier espacio que presente vegetación en el área. Además, se utilizan imágenes satelitales actualizadas de *Google Earth Pro* y *Google Street View* para espacializar el barrio y reconocer las dimensiones reales que tiene la vegetación. Una vez identificada la vegetación se determinan los tipos de estructuras vegetacionales (tipo, tamaño, ubicación) y la importancia que cada una presenta para el control del microclima. Se utilizan como referencia los tipos de vegetación propuestos por Fernández & De la Barrera (2018), sin embargo, para la digitalización se unen las herbáceas permanentes (perennes), con las herbáceas temporales (anuales), para hablar solo de vegetación herbácea. Lo mismo para la vegetación arbórea siempre-verde y la arbórea caducifolia, se consideran ambas como vegetación arbórea.

La digitalización se realizó en el software *ArcGIS*, usando un mapa base (*Basemap Imagery*), sobre el que se crean dos *shape* de polígonos utilizando la proyección *UTM, Datum WGS84 y Huso 18* del hemisferio Sur. Para digitalizar los fragmentos de vegetación presentes en el barrio San Pedro de la Costa I se van a editar los *shape* en base a dos tipos de vegetación que se reconocen en el lugar: arbórea y herbácea, siendo los tipos predominantes dentro del barrio, de esta forma, se fueron delimitando todos los espacios correspondientes a estos tipos de vegetación, si bien, la digitalización se desarrolla sobre el *Basemap Imagery* en *ArcGis*, simultáneamente se fue comparando con imágenes satelitales actualizadas de *Google Earth Pro* de enero y julio de 2020 con el fin de disminuir el margen de error de la digitalización.

Una vez realizada la digitalización de los polígonos de vegetación se inicia el análisis de su distribución, en este proceso se identifican las áreas que presentan mayor cantidad de vegetación, siendo más relevante para la investigación la presencia de vegetación arbórea. Sin embargo, de igual forma se debe analizar la vegetación herbácea, pues, son los lugares donde potencialmente se

podría incrementar la vegetación facilitando la proyección a futuro del comportamiento del microclima del barrio en relación al aumento de la vegetación como ente regulador principal del microclima.

### 3.6 Modelación espacial para evaluar el aporte de la vegetación

Para estudiar el comportamiento microclimático del barrio San Pedro de la Costa I y los posibles escenarios a futuro en base al rol de la vegetación urbana en la regulación de sus efectos, se utiliza el programa *ENVI-met*, que corresponde a un *software* de simulación térmica a microescala de entornos urbanos, capaz de modelar espacialmente las características climáticas de un área a partir de las diversas variables que influyen en un microclima.

La herramienta de cálculo y análisis climático *ENVI-met* desarrollado por Michael Bruse se enfoca en simular la interacción entre la superficie construida (y sus materiales), la vegetación y la atmosfera dentro de un entorno urbano, basándose en modelos de fluidodinámica y termodinámica (Bruse, 2014). Este programa permite evaluar la influencia de la vegetación presente en un espacio urbano simulando efectos de absorción y reflexión de la radiación solar además de la evapotranspiración. También, permite simular los efectos de la vegetación en distintos escenarios en un territorio urbano determinado, por lo tanto, es capaz de evidenciar el rol que esta tendría en el control del microclima urbano en condiciones actuales y en situaciones proyectadas incluyendo variaciones climáticas producidas por el cambio climático global.

El programa *ENVI-met* posee distintos *softwares* y herramientas con distintas funciones que van a dar forma a los resultados de la modelación como se observa en la figura 7. En el *software Spaces* es donde se digitaliza el área de estudio utilizando pixeles, estos pueden tener distinta información, ya sea, el tipo de suelo presente en el área, tipos de vegetación, las edificaciones, sus materiales de construcción y altura, entre otros. Para obtener óptimos resultados en un modelo actual es necesario que la digitalización de los pixeles sean lo más cercanos a la realidad, además se le otorga una localización espacial aproximada para que el modelo utilice la información de la base de datos del programa.

En este caso de estudio, para realizar la modelación, se digitaliza toda el área del barrio ubicando los pixeles de suelo que corresponden en este caso principalmente a arena y pavimento; edificaciones compuestas de concreto, madera y zing; y vegetación correspondiente a arboles de distintas formas, tamaños y especies y pato de distinta altura. El resultado es un archivo tipo *.INX* el que luego debe ser transformado mediante el *software ENVI Guide* en uno del tipo *.SIMX*. En este proceso al modelo se le entregan los parametros climáticos necesarios para la modelación: la fecha y horas para las que se quiere modelar, la temperatura del aire, la velocidad del viento y la dirección del viento para ese momento. Toda esta información corresponde al *input*, este archivo es cargado en el *software ENVI Core* para que se pueda correr el modelo, una vez finalizado se obtiene un

*output* que se representa con una carpeta que contiene en su interior diversas carpetas con distintos tipos de documentos que contienen información sobre el modelo, estos resultados solo pueden visualizarse en el *software Leonardo* seleccionando distintas herramientas y funciones propias del *software*. Una vez obtenida la visualización se concretan los resultados.

En este caso se modelan primero las temperaturas en un día de invierno (19 de agosto de 2019) y un día de verano (9 de febrero de 2020), los mismos días utilizados para el estudio de interpolación y los mismos horarios (07:00, 15:00 y 19:00 horas), se utiliza la misma estructura de píxeles previamente diseñada en *Space* (en base a los elementos reales del barrio) para realizar todos los modelos. Estos días fueron seleccionados ya que al ser los mismos estudiados en el proceso de interpolación de datos se puede tener una comparación más correcta entre los resultados obtenidos. Los modelos varían entre sí por los datos de temperatura y viento ingresados en la modelación. Se usaron los datos adquiridos y monitoreados por la estación meteorológica Carriel Sur ubicada en la comuna de Concepción a 8,5 Km de San Pedro de la Paz, ya que corresponde a la estación meteorológica más cercana al área de estudio con datos para esos días.

De estos resultados se utiliza el horario más frío y el más cálido de los días estudiados anteriormente, traduciéndose en el 19 de agosto de 2019 a las 07:00 horas y el día 09 de febrero del 2020 a las 15:00 horas para llevar a cabo el siguiente proceso de modelación. Este proceso está enfocado en evaluar el rol que cumple la vegetación en la regulación del microclima urbano, ya sea, en condiciones actuales o en condiciones futuras, proyectando un aumento en las temperaturas producto del cambio climático. Para concretar la modelación que dará respuesta a la pregunta de investigación, es necesario simular una alteración en las condiciones estructurales del área urbana en estudio, esto se lleva a cabo aumentando la vegetación en el modelo. Se identifican los porcentajes de vegetación presente en la actualidad dentro del barrio en base al total de espacio no edificado. En efecto, se considera como 100% toda el área no construida, de este total, la vegetación actual representa un 15%, incluyendo vegetación de tipo arbórea y herbácea. En esta parte, se realiza una nueva digitalización en *Spaces* y mediante el uso de píxeles se le entrega al barrio 50% y luego un 90% de vegetación para comparar los resultados entre sí y poder visualizar la variación de las temperaturas que esto genera en el barrio. Se escogen estos porcentajes para extremar las condiciones de vegetación presentes en el barrio considerando que un barrio sano debería tener por lo menos un 40% de vegetación, así se define el 50% y el 90% para poner el modelo en un caso donde los lugares no construidos del barrio estén cubiertos casi en su totalidad por vegetación.

Para comprender el rol de la vegetación en la regulación de las temperaturas en el microclima urbano del barrio San Pedro de la Costa I, a través, del uso del programa de modelación climática *ENVI-met*, es fundamental tener precisión con los datos que se ingresan en el modelo, en este caso, los registros por hora de la temperatura, dirección y velocidad del viento de la estación meteorológica

de Concepción Carriel Sur son claves en los resultados, ya que, se está generando toda esta interpretación en base a la información de esos datos.



Figura 7: Proceso en Envi-met para desarrollar una simulación espacial.

ENVI – met Headquarter

Spaces: Veg. Actual

Spaces: Veg. 50%

Spaces: Veg. 90%

ENVI - guide

ENVI - core

Leonardo

# **CAPÍTULO IV RESULTADOS**

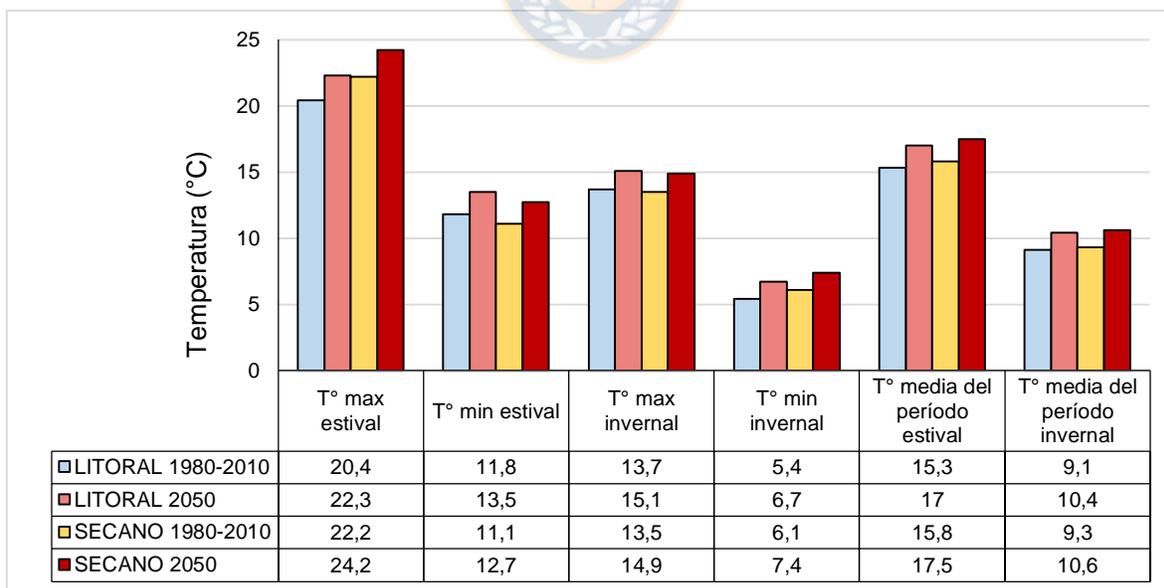


#### 4.1 Efectos de cambio climático proyectados para San Pedro de la Paz.

Para la zona litoral de la comuna de San Pedro de la Paz se proyecta un aumento en las temperaturas en todos los períodos estacionales analizados, donde, la temperatura máxima estival que estudió la máxima temperatura del mes más cálido (enero), varía de 20,4°C en el período de 1980 - 2010 a 22,3°C para el 2050 alcanzándose una variación máxima de 1,9°C siendo este período del año donde mayor variación se evidencia. De igual forma, el período con menor variación corresponde a la temperatura mínima invernal que estudió la mínima del mes más frío (julio) con 5,4°C durante 1980 - 2010 y una temperatura de 6,7°C en el escenario 2050 aumentando 1,3°C. La temperatura media del período estival que estudia los meses de diciembre, enero y febrero indica que la temperatura aumentará en promedio 1,7°C mientras que la media del período invernal que estudia los meses de junio, julio y agosto aumentará 1,3°C, por lo tanto, es evidente que **la temperatura para el 2050 aumentará para todos los meses del año, pero aumentará más en el período estival (de verano) alcanzando su punto máximo de variación en el mes de enero.**

Para la zona del secano interior de la comuna se observa el mismo patrón de aumento que en el litoral, sin embargo, las temperaturas son levemente más altas, por lo tanto, en el periodo de máxima estival (enero) la temperatura aumenta de 22,2°C en la línea base de 1980-2010 a 24,2°C en el escenario del 2050, siendo el período donde es más notorio el aumento de temperatura, esto se evidencia en el gráfico presente en la Figura 8.

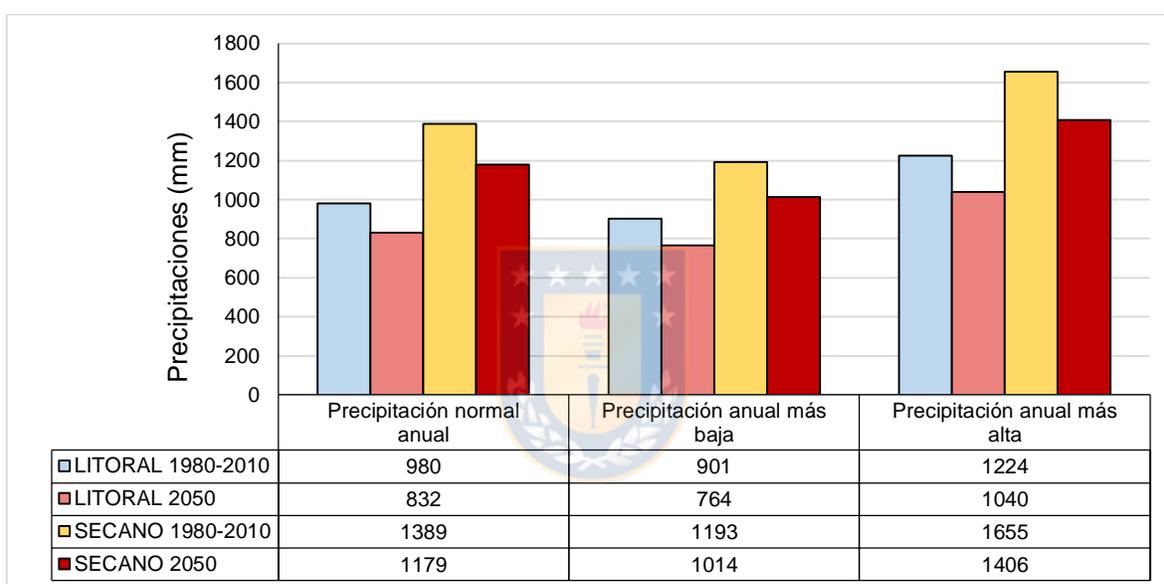
**Figura 8: Temperaturas en San Pedro de la Paz (1980-2010 y escenario al 2050).**



Fuente: Elaboración propia en base a Excel de " Datos de línea base (1980-2010) y proyección al 2050 por comunas".

Con respecto a las precipitaciones se observa una disminución en la cantidad anual de agua caída para el 2050, se estima que, para la zona del secano interior de la comuna, que registra mayores precipitaciones que en la zona litoral según la línea base, la precipitación normal anual varíe de 1389mm a 1179 mm al 2050 y de 980mm a 832mm en la zona litoral. Según las proyecciones, la precipitación anual más baja de la zona litoral de la comuna es la que presenta menor variación, disminuyendo 137 mm desde 1980-2010 al 2050, mientras que la precipitación anual más alta de la zona de secano interior es la que presenta mayor variación disminuyendo 249mm en el escenario futuro, como se observa en la figura 9. Si bien las precipitaciones van a disminuir en los próximos años, no se descarta que estas aumenten en intensidad.

**Figura 9: Precipitaciones en San Pedro de la Paz (1980-2010 y escenario al 2050).**



Fuente: Elaboración propia en base a Excel de " Datos de línea base (1980-2010) y proyección al 2050 por comunas".

## 4.2 Microclima en San Pedro de la Costa I

A partir de los datos obtenidos por los sensores de temperaturas ubicados durante días de invierno y verano en el barrio se puede hacer una interpretación del comportamiento microclimático de San Pedro de la Costa I. Se inicia este proceso de descripción de temperaturas con los datos de invierno.

### *4.2.1 Datos de invierno e interpolación espacial*

Del total de los 14 sensores distribuidos en el barrio se utilizan los datos de 9 de ellos, ya que, algunos se encontraban muy próximos entre sí lo que afecta el óptimo cálculo del promedio entre

sus temperaturas alterando el resultado de la interpolación, los sensores descartados corresponden a antejardines. Se ejecuta el proceso de interpolación para cada conjunto horario con el fin de poder compararlos entre ellos, además, se agregan los *Shapes* de vegetación arbórea y herbácea para poder relacionar las temperaturas con el tipo y cantidad de vegetación presente en el barrio.

**Los datos de temperatura promedio de la interpolación de invierno que se observa en la figura 10 para el día 19 de agosto de 2019 muestran que, la temperatura mínima es de 8°C y se registran durante la mañana entre las 05:00 y las 07:00 horas, mientras que la máxima se registra durante la tarde entre las 14:00 y 16:00 horas alcanzando los 17,5°C en promedio.**

Durante el período de la mañana los promedios de temperatura dentro del barrio oscilan entre 8°C y 9°C principalmente, solo se identifica una diferencia de temperatura en la esquina noroeste del barrio oscilando entre 9°C y 10°C. En este horario la interpolación de datos de temperatura resulta ser bastante uniforme, por lo que, la vegetación en este caso no es un indicador de regulación de temperatura significativo.

Durante el período comprendido entre las 14:00 y 16:00 horas se observan intervalos de temperaturas más variados entre sí, oscilando entre 11°C y 18°C. En el resultado de la interpolación se identifica claramente que el sector Este del barrio presenta temperaturas más bajas entre 11°C y 14°C mientras que las temperaturas del sector Oeste parten desde los 14°C alcanzando los 18°C aprox. al norte de este sector. En este caso, la distribución de las temperaturas y la cantidad de vegetación presente si es importante, si bien, influyen otros factores como la orientación del sensor, es clara la diferencia de vegetación entre el sector Este y Oeste, el Este que es más frío tiene mayor cantidad de vegetación arbórea y además está mejor distribuida pues en todos los pasajes está presente, a pesar que el sector oeste tiene mayor presencia de vegetación herbácea, no logra regular la temperatura de todas las manzanas aun cuando el sector este cuenta con casi nula vegetación de este tipo. Se evidencia que la arbórea cumple un rol más importante en la regulación de temperaturas pues precisamente rodeando el sensor que registró la mayor temperatura para este horario no hay presencia de vegetación de ningún tipo.

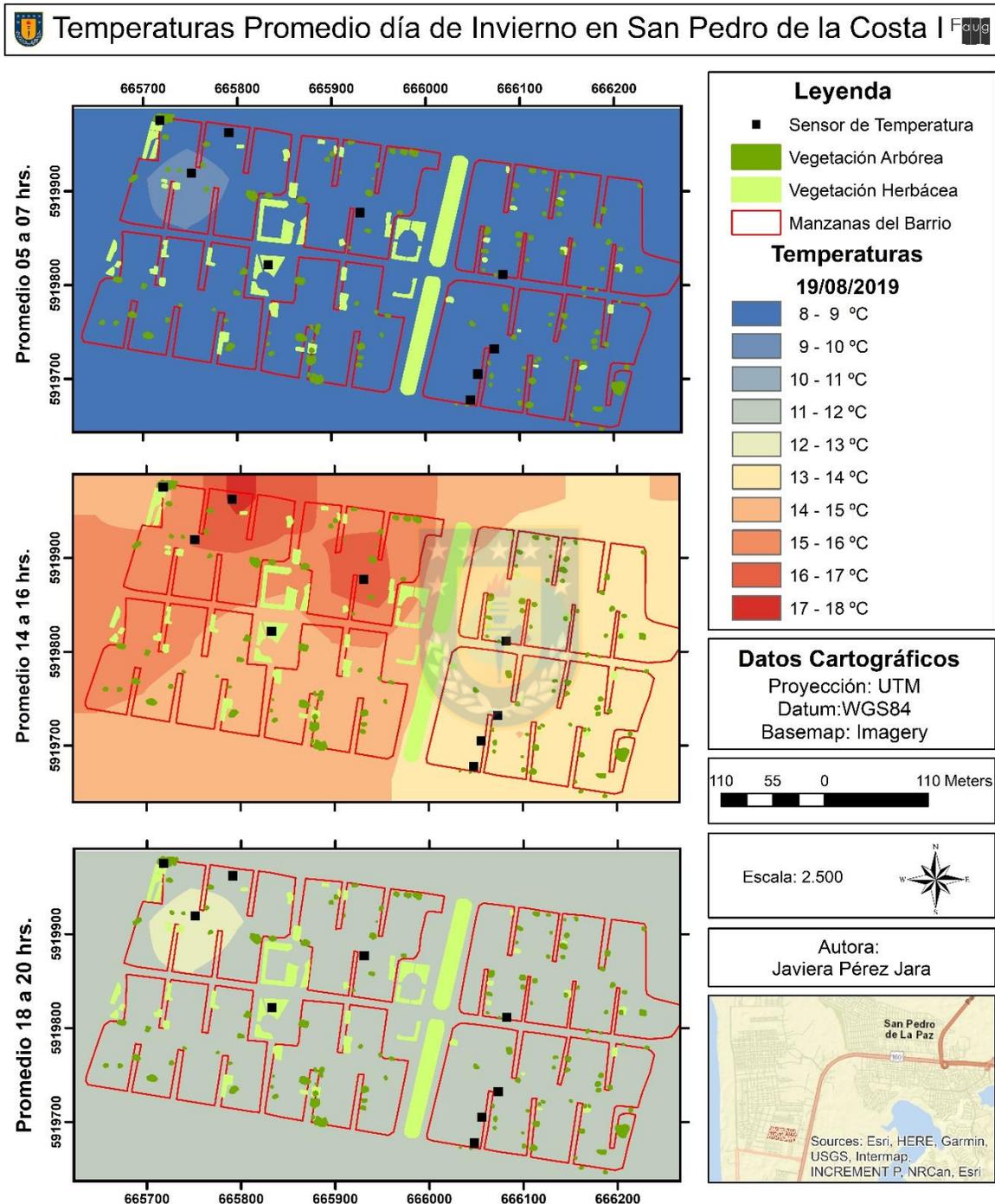
Entre las 18:00 y 20:00 horas las temperaturas vuelven a descender situándose entre 11°C y 13°C, la mayor parte del barrio se mantiene entre 11°C y 12°C, solo una parte ubicada al norte del sector oeste bordea entre los 12°C y 13°C coincidiendo con el sector de más alta temperatura para todos los horarios anteriores.

En general el comportamiento microclimático del barrio durante el invierno es bastante regular, se logra apreciar una tendencia de mayor temperatura durante los tres períodos de tiempo estudiados en el sector oriente del barrio, específicamente entre el Pasaje 36 y la Calle A, los sensores que presentan estas temperaturas más elevadas están ubicados con orientación norte y cuentan con

menos vegetación en su entorno más próximo, a diferencia del sector Este que registra las más bajas temperaturas durante el día que cuenta con orientación sur y este y mayor cantidad de vegetación arbórea, es fundamental entender que durante el registro de las máximas temperaturas se genera una importante diferencia térmica entre ambos alcanzando 7°C aproximadamente entre el sector este y oeste del barrio, siendo muy amplia para un barrio de este tamaño.



Figura 10: Interpolación de temperaturas promedio durante un día de invierno en San Pedro de la Costa I.



Fuente: Elaboración Propia en base a sensores de temperatura.

#### 4.2.2 Datos de verano e interpolación espacial

De los 7 sensores distribuidos en el barrio se utilizan los datos de 6, ya que, la información que registro el sensor ubicado en la calle Tucapel con orientación sur estaba defectuosa, por lo que, se decide excluirlo para no alterar el resultado de la interpolación de los datos de temperatura. Al igual que con el período de invierno, se ejecuta el proceso de interpolación en *ArcGis 10.3* para cada conjunto horario con el fin de poder compararlos entre ellos, además, se agregan los Shapes de vegetación arbórea y herbácea para poder relacionar las temperaturas con el tipo y cantidad de vegetación presente en el barrio.

**El rango de temperaturas promedio de la interpolación de verano que se ve en la Figura 11 para el día 09 de febrero de 2020 inicia con una temperatura mínima de 13°C durante la mañana entre las 05:00 y las 07:00 horas, y una máxima de 31°C durante la tarde, entre las 14:00 y 16:00 horas.**

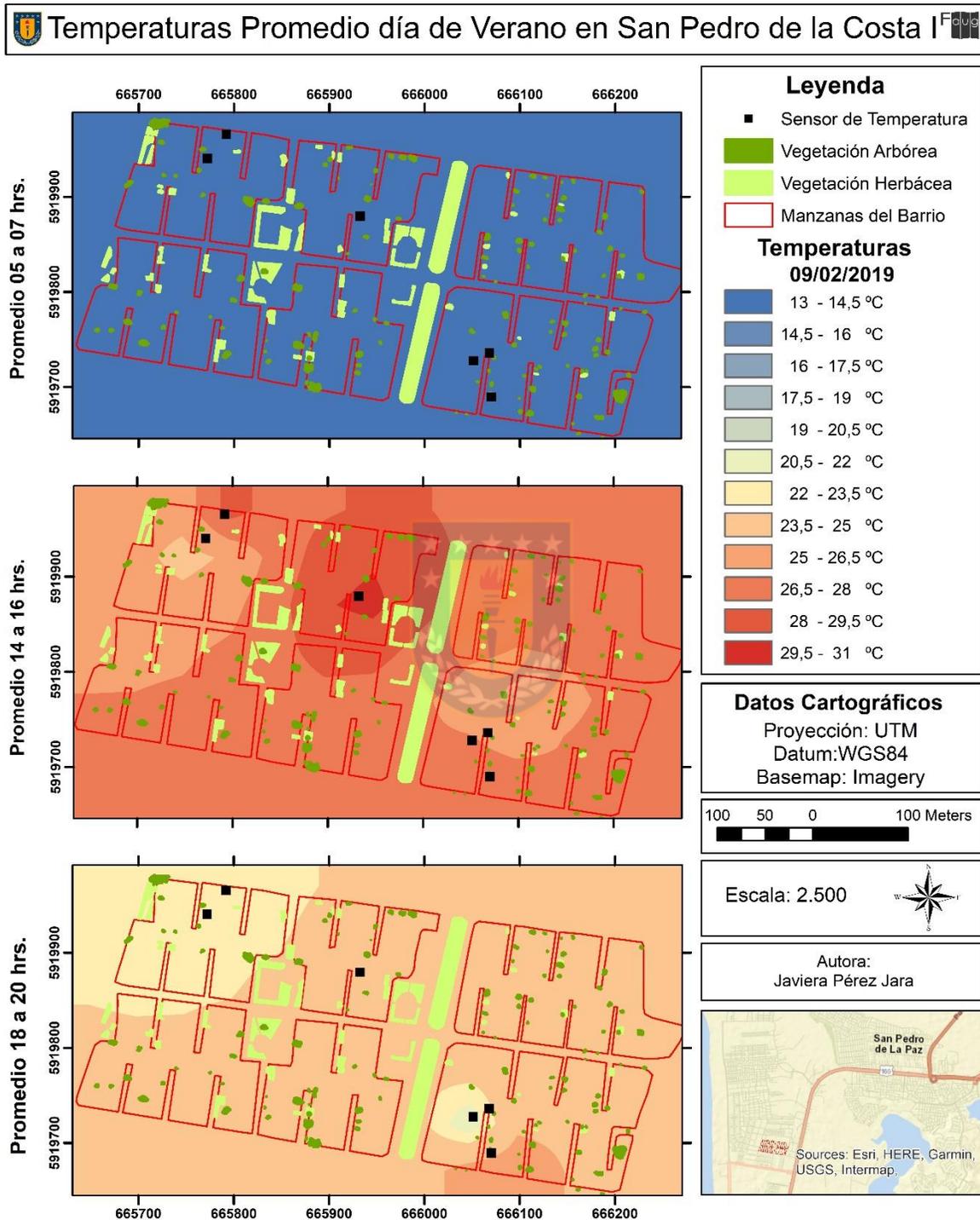
En el horario de la mañana entre las 05:00 y 07:00 horas no se registra una variación de temperatura mayor, toda el área del barrio se mantiene entre 13°C y 14,5°C.

Durante las 14:00 y 16:00 horas las temperaturas oscilan entre 23,5°C y 31°C, la mayor superficie del barrio se mantiene entre 26,5°C y 28°C. El máximo de temperatura se alcanza en el centro del barrio alrededor del sensor ubicado en el Pasaje 30 en el sector oeste, desde este punto va disminuyendo la temperatura hasta encontrarse con el mínimo ubicado en la esquina noroeste del mismo sector. Es importante mencionar que existen alrededor de 8°C de diferencia en el mismo sector del barrio.

Entre las 18:00 y 20:00 horas se registran temperaturas desde 20,5°C y 26,5°C, la mayor parte del barrio se mantiene entre 23,5°C y 25°C, se observa un espacio pequeño de más calor al sur del sector este del barrio, sin embargo, muy cerca de este se encuentra el lugar de mayor frío junto a un sensor de temperatura ubicado en el Pasaje 4. En la esquina noroeste del barrio se aprecia una manzana completa que se mantiene entre 22°C y 23,5°C.

En general el barrio durante el verano tiene un comportamiento térmico más irregular, con diferencias de temperaturas muy notorias sobre todo durante las máximas registradas entre las 14:00 y 16:00 horas. Con respecto a las mínimas, no se puede decir lo mismo, pues, en todo el barrio se registran temperaturas que oscilan dentro del mismo rango. No es evidente un comportamiento similar en la distribución de las temperaturas en el barrio entre los distintos horarios de estudio, ya que, donde se registró la temperatura máxima para el promedio entre las 14:00 y 16:00 horas, a las 18:00 y 20:00 horas se regula completamente y deja de ser un punto de calor, lo que si se logra captar mediante la interpolación es que durante ambos periodos de tiempo se mantienen los mismos puntos fríos.

Figura 11: Interpolación de temperaturas promedio de un día de verano en San Pedro de la Costa I.



Fuente: Elaboración Propia en base a sensores de temperatura.

### 4.3 Aporte de la vegetación en el control del microclima urbano.

#### *4.3.1 Descripción del barrio en base a imágenes satelitales*

Desde el término de la construcción del barrio San Pedro de la Costa I han transcurrido 15 años. Al observar las imágenes satelitales presentes en *Google Earth Pro* correspondientes a los años previos a la construcción y post construcción hasta la actualidad se logran apreciar los procesos a los que se ha enfrentado el terreno durante este corto período en el que se ha consolidado este barrio. Las imágenes del año 2002 muestran un terreno típico costero con suelo de arena fina y baja vegetación del tipo herbáceas y arbustos de menor tamaño, además se ubican dos cuerpos de agua que parecieran ser vegas naturales, uno de mayor tamaño en el centro del área donde posteriormente se construirá el barrio y otro pequeño en la esquina noreste del lugar. Se aprecian a su vez trazados de cultivos en el terreno aledaño. Para el 2006 ya se ha construido San Pedro de la Costa I siendo un bandejón central con pasto tradicional el único tipo de vegetación presente en el barrio, se construye además en una gran extensión de terreno el barrio San Pedro de la Costa II al costado oeste del barrio San Pedro de la Costa I, los terrenos no construidos próximos al área del barrio están compuestos principalmente de arena y casi nula presencia de vegetación.

El 2009 se observa que comienza a crecer pasto dentro de las superficies con tierra ubicadas en plazas y en el interior de los pasajes del barrio, sin embargo, es vegetación esporádica; aparte, al sur del barrio se construyen nuevos pasajes residenciales continuos a San Pedro de la Costa I, y al norte del barrio aún se perciben espacios con cultivos. Para el 2012 se comienzan a identificar algunos arbustos y árboles pequeños en calles, pasajes y antejardines, y se mantienen las áreas con pasto y hierbas estacionales. Ya en 2016 se observan algunos árboles con follaje de mediano tamaño ubicados principalmente en las veredas del barrio, con respecto a la vegetación como pasto y hierbas esporádicas se ven en total desgaste apreciándose un suelo seco y polvoriento, lo que puede o no estar relacionado con la construcción de un nuevo conjunto de viviendas ubicados en el sector norte del barrio, donde anteriormente se ubicaban los terrenos de cultivo. Para el 2018 la vegetación del tipo herbáceas, principalmente pasto se encuentra más estable en el tiempo observándose verde en las imágenes satelitales de ese periodo, y la vegetación arbórea se hace más presente con un arbolado de mayor tamaño (pocos árboles) y otros de mediano y bajo tamaño, al igual que arbustos medianamente frondosos, para este momento el entorno del barrio está casi en su totalidad construido. **Esto nos lleva a la actualidad donde al igual que en años anteriores se observa mayor estabilidad de vegetación estacional en meses de mayor humedad y sol donde crecen los pastos y las pequeñas hierbas que luego se secan con la llegada del verano, este proceso cronológico se observa en la figura 12.** En el barrio no hay ni techos ni muros verdes.

Figura 12: Evolución temporal del barrio.



Fuente: Elaboración propia en base a *Google Earth Pro*.

En este resumen temporal de los procesos de transformación por los que ha pasado el territorio en los últimos 20 años aproximadamente, se plasman a grandes rasgos las características del entorno del barrio y de su interior con el fin de comprender el comportamiento de la vegetación y contextualizar las transformaciones que ha sufrido el terreno donde se emplazó el barrio para posteriormente analizar su dinámica.

Se ha especificado que el tipo de vegetación predominante en el barrio es de tipo arbórea/arbustiva y herbácea, si bien se ha recalcado la presencia de esta última, la más significativa para cumplir los objetivos de la investigación que buscan proyectar el rol de la vegetación en el control del microclima corresponde mayormente a la de tipo arbórea, la que en el barrio se plasma en forma de árboles y

arbustos, sin embargo, conocer su ubicación es especialmente importante para proyectar estos espacios como capaces de aumentar en vegetación.

#### 4.3.2 Digitalización de la distribución de la vegetación urbana

Al digitalizar la vegetación en *ArcGis* es cuando se logra visualizar realmente la cantidad de vegetación presente en el barrio, ya sea de tipo arbórea o herbácea (Figura 13).

**Figura 13: Cartografía de la vegetación del barrio San Pedro de la Costa I.**



Fuente: Elaboración Propia en base a *ArcGis* 10.3.

#### Vegetación Arbórea

Los árboles y arbustos del tipo perennes se encuentran “activos” todo el año a diferencia de los caducifolios que se encuentran activos en verano y durante el invierno pierden su cobertura, durante el proceso de digitalización en base a imágenes satelitales se dificulta la diferenciación entre ambos tipos por lo que se van a clasificar como un solo tipo de vegetación resolviendo su diferenciación dentro de las posibilidades del caso.

**La vegetación arbórea en el barrio es representada principalmente por árboles de distintas especies, ya sean de tipo perenne o caducifolio que en su mayoría no presentan un gran follaje siendo más bien árboles de tamaño moderado aún en crecimiento, considerando que el barrio tiene 15 años se entiende que estos árboles no son longevos,** lo que significa, que con en el pasar del tiempo, estos serían más frondosos y grandes aportando a la población y entorno todos los beneficios que representan, esto, mientras las podas se realicen de forma correcta y sin dañar profundamente la estructura y crecimiento del árbol como muchas veces se aprecia en el arbolado urbano.

Los árboles se distribuyen por todo el barrio principalmente en los espacios públicos como veredas y plazas, también se encuentran en jardines residenciales y patios. Como el barrio está compuesto de pasajes con una sola vía de entrada y salida, en muchos casos estos son cerrados permitiéndose el acceso solo a los residentes del pasaje, esto facilita que sus habitantes amplíen sus antejardines ocupando el espacio existente entre el límite (reja, cerco, etc.) de sus viviendas y la calle del pasaje dándole el uso que requieran, ya sean, como estacionamiento, plantando árboles y arbustos o incluso creando huertos, entre otros.

Los arbustos dentro del barrio se traducen principalmente en especies de crecimiento rápido utilizadas generalmente para dividir o delimitar espacios, que se encuentran comúnmente en antejardines y patios.

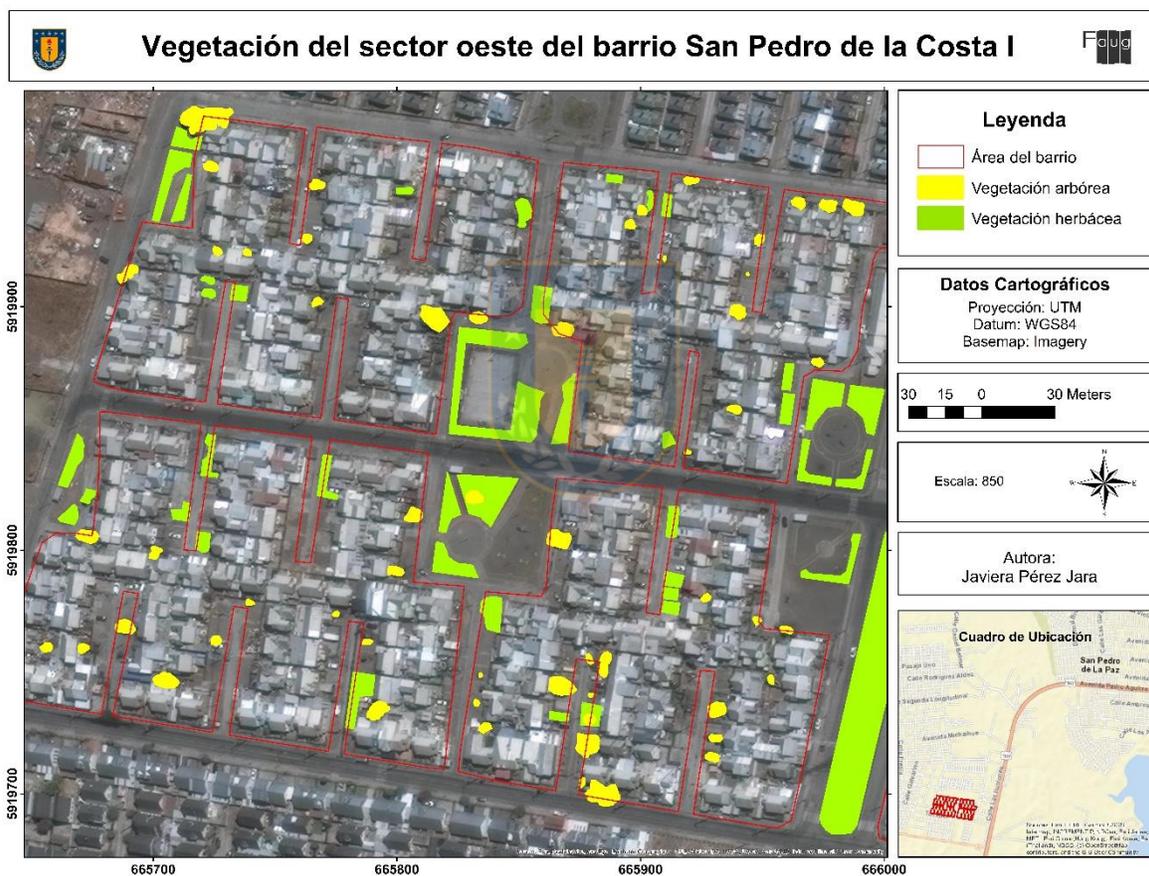
### **Vegetación Herbácea**

La vegetación herbácea presente en el barrio es principalmente pasto tradicional, ubicado en bandejones centrales y plazas, la vegetación de los bandejones centrales podría denominarse perenne pues se observa verde casi todo el año, sin embargo, el pasto y las distintas herbáceas que crecen en las plazas la mayor parte del tiempo se observan desgastados o seco, por lo tanto, se habla de especies más bien temporales de vida limitada, sobre todo el de las plazas ya que tiene más tránsito de personas. Además de pasto, se observan ciertas hierbas y malezas de temporada que se mantienen verdes durante el período posterior a las lluvias de invierno y entrada la primavera, y hasta el inicio del verano, donde el aumento de las temperaturas termina secándolas. Estas se distribuyen por todo el barrio, crecen dentro de los pasajes y en los espacios sin cementar de las veredas y plazas, en los antejardines y en las expansiones de antejardines que se mencionaron anteriormente. **En la mayoría de los espacios con suelo natural potencialmente podría crecer vegetación herbácea, además de ser un lugar apto para plantar otro tipo de vegetación que aporte en la regulación del microclima del barrio.**

## División del barrio

En el barrio existen cuarenta pasajes contenidos en cuatro grandes manzanas, las que se dividen de Norte a Sur por la calle Central, y de Este a Oeste por dos bandejones centrales ubicados en la Av. Las Torres. Esta última será en adelante, la división que se va tomar en cuenta para reconocer el sector oeste y el sector este, cada uno con dos manzanas, con la finalidad de tener una visión más ampliada de cada sector del barrio.

Figura 14: Cartografía de la vegetación del sector oeste del barrio.

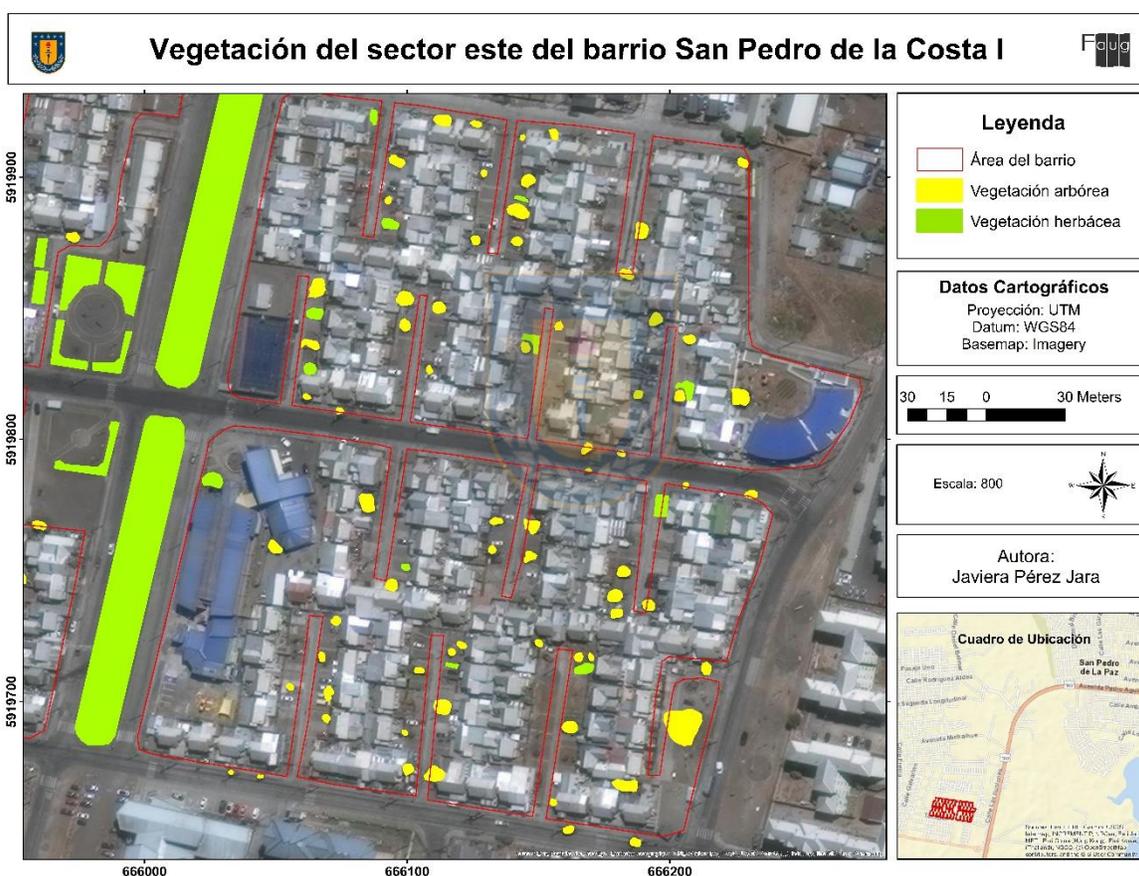


Fuente: Elaboración propia.

En cada una de las manzanas del sector Oeste que se observa en la figura 14, existen 13 pasajes interiores además de las viviendas situadas hacia las calles principales del barrio, cuenta con 4 plazas de las cuales una posee una multicancha. En este sector se destacan amplios espacios con vegetación herbácea correspondiente al pasto de las plazas y en menor medida en manchones de

hierbas dentro de los pasajes, sobre todo en los espacios ubicados a los costados de la calle del pasaje, entre esta y las viviendas. **Existen 8 pasajes con nula vegetación de tipo herbáceas activas durante el período en el que fueron tomadas las imágenes satelitales y desarrollada la digitalización.** Si bien, la mayoría de los pasajes de este sector tienen vegetación de este tipo, aún hay muchos suelos con nula vegetación. Con respecto a la distribución de la vegetación del tipo arbórea en el lado oeste del barrio se puede decir que se mantiene bastante dispersa, si bien la mayoría de los pasajes tienen al menos un árbol o arbusto, se observan pasajes continuos donde no hay ningún tipo de vegetación de este tipo.

**Figura 15: Cartografía de la vegetación del sector este del barrio.**



Fuente: Elaboración propia en base a *ArcGis* 10.3.

En el sector Este que se observa en la Figura 15, no se cuenta con plazas, existe una multicancha de cemento, un ex establecimiento educacional y un jardín infantil. En este sector del barrio existen quince pasajes, por lo que es más acotado que el sector oriente. La cantidad de vegetación herbácea que se observa es mínima y existen muchos espacios de suelo con nula vegetación. La vegetación

arbórea en cambio está mucho más presente que en el sector oeste, en la totalidad de los pasajes se observan árboles de distintos tamaños.

#### 4.4 Modelación espacial de la temperatura en el barrio

##### *4.4.1 Modelación espacial de temperaturas usando ENVI-met*

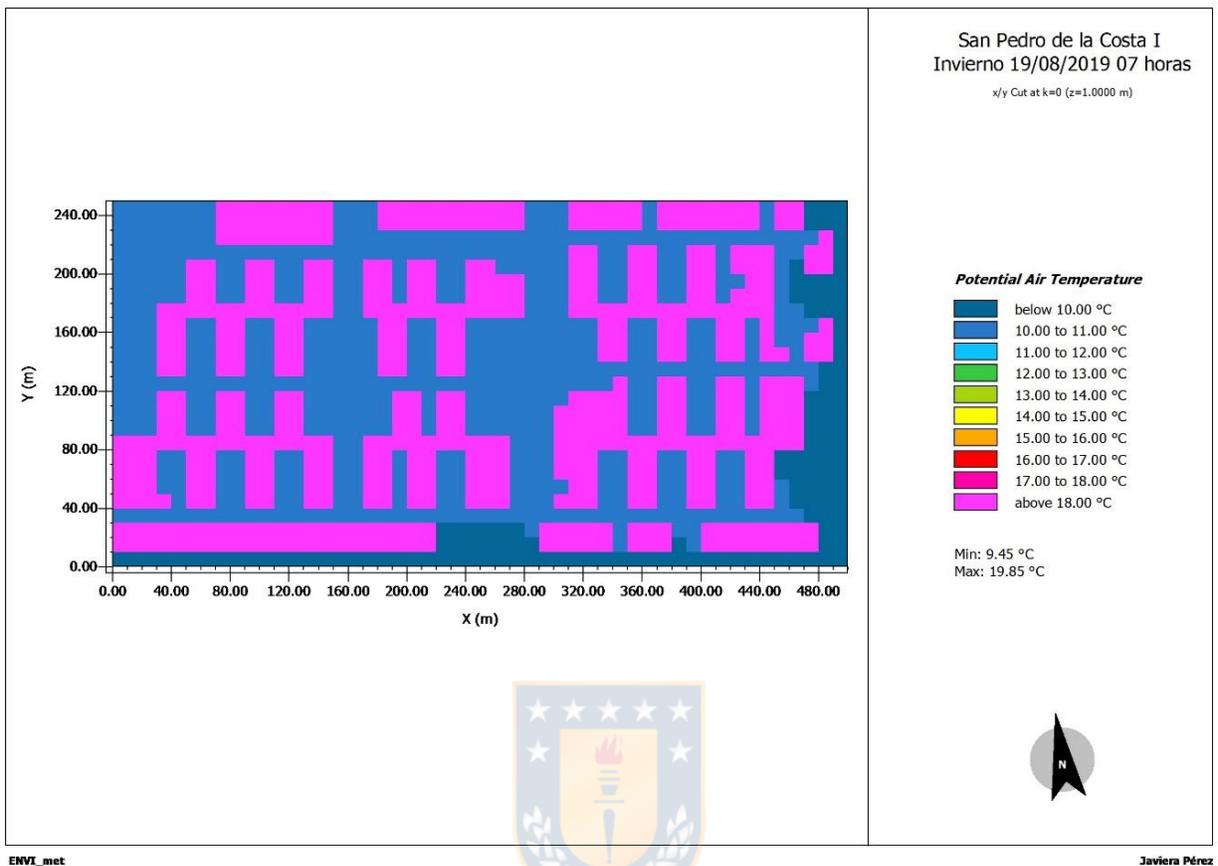
##### **INVIERNO**

Los datos de temperatura, velocidad y dirección del viento utilizados en esta modelación espacial corresponden a los registros reales obtenidos por la estación meteorológica Carriel Sur durante el día 19 de agosto de 2019. La variación en la temperatura del aire ingresada al *software* durante el día fue de 8°C a 15°C. En base a esta variación, a la estructura del barrio, y a la base de datos que usa el programa con la información de San Pedro de la Paz, se genera la modelación.

La temperatura a las 07:00 de la mañana como se observa en la figura 16 es homogénea entre 10°C y 11°C en todo el espacio no construido y al aire libre del barrio, solo se registra una pequeña área donde la temperatura es menor a 10°C que se ubica en el borde este del barrio y en menor cantidad en el borde sur.



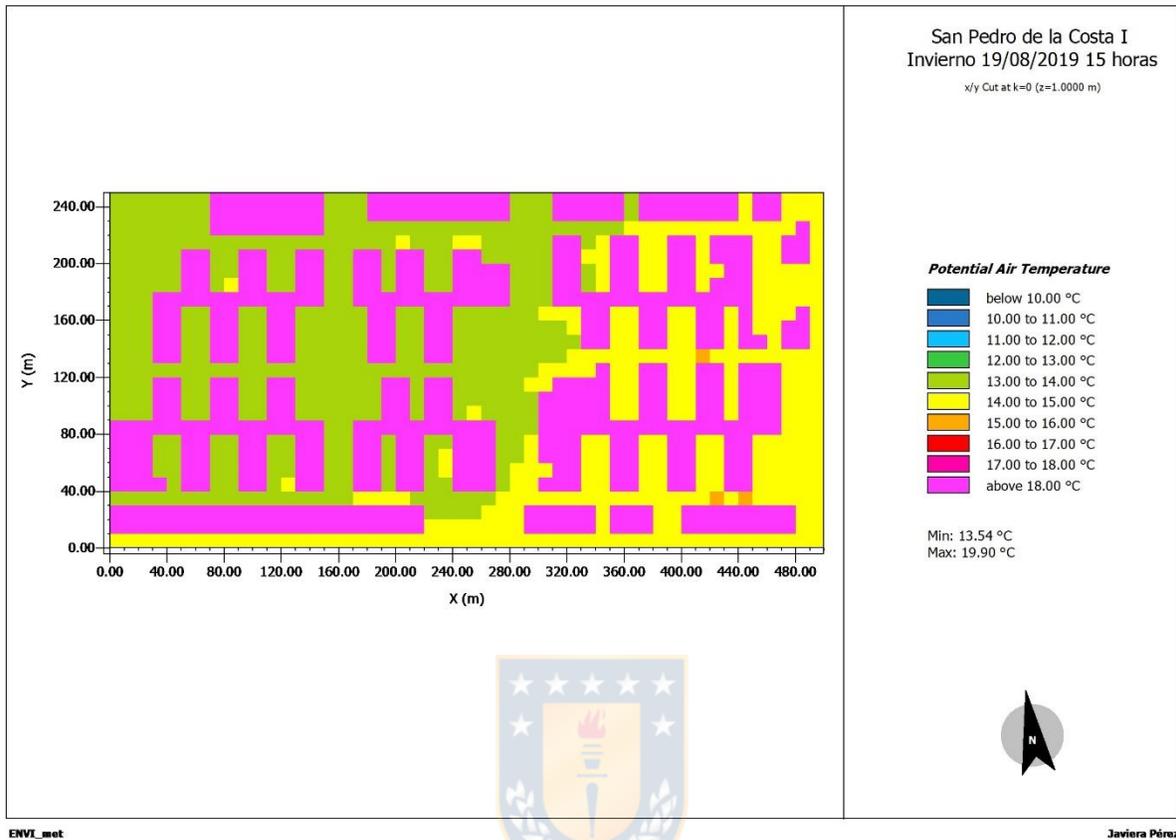
Figura 16: Temperatura en una mañana de invierno en San Pedro De La Costa I.



Fuente: Elaboración propia.

A las 15:00 horas como se ve en la figura 17 es posible visualizar temperaturas que oscilan entre 13°C y 16°C en el espacio abierto, siendo el sector oeste del barrio el que se mantiene más fresco mientras el sector este se encuentra incluso en pequeñas áreas dos grados por encima del resto.

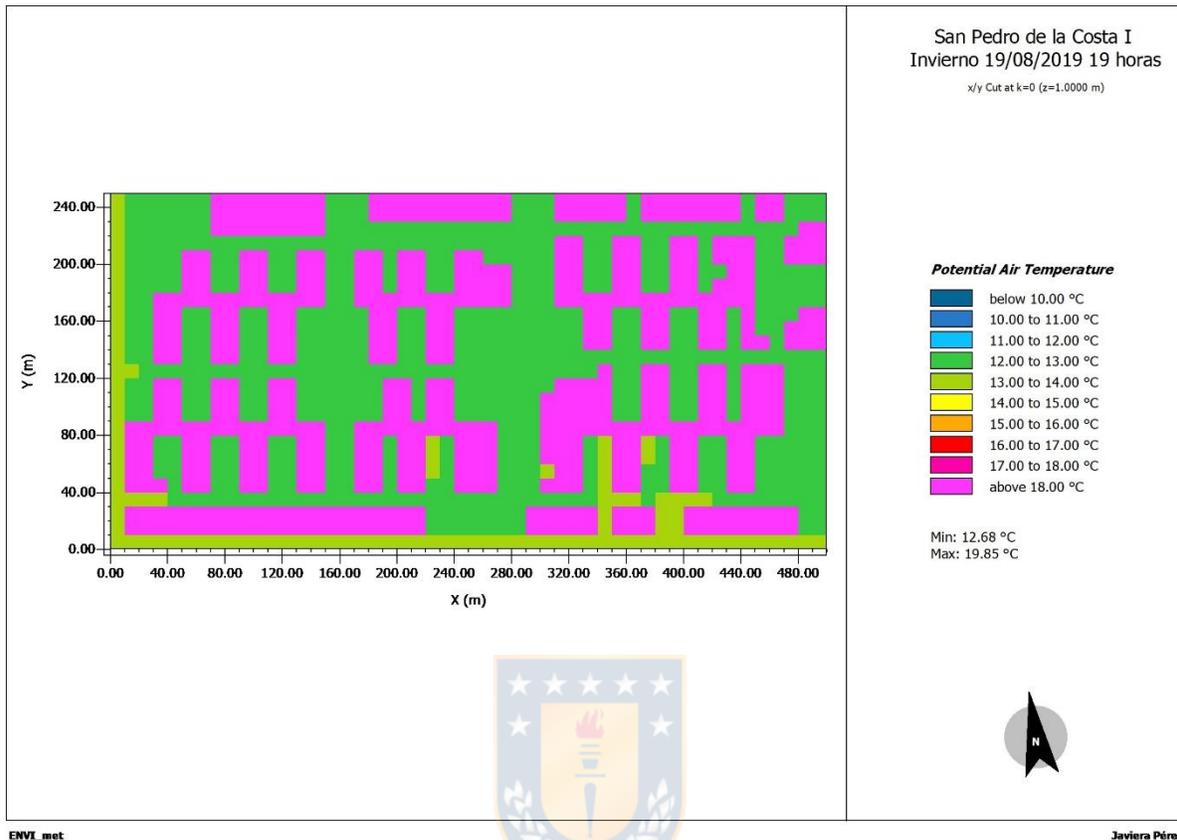
Figura 17: Temperatura en una tarde de invierno en San Pedro De La Costa I.



Fuente: Elaboración propia.

A las 19:00 horas la temperatura del barrio desciende a 12°C, y se mantiene así en todos los lugares al aire libre del barrio lo que se plasma en la figura 18. Solo se identifica una pequeña superficie al sur del sector este del barrio con temperatura entre los 13°C y 14°C.

**Figura 18: Temperatura en un atardecer de invierno en San Pedro De La Costa I.**



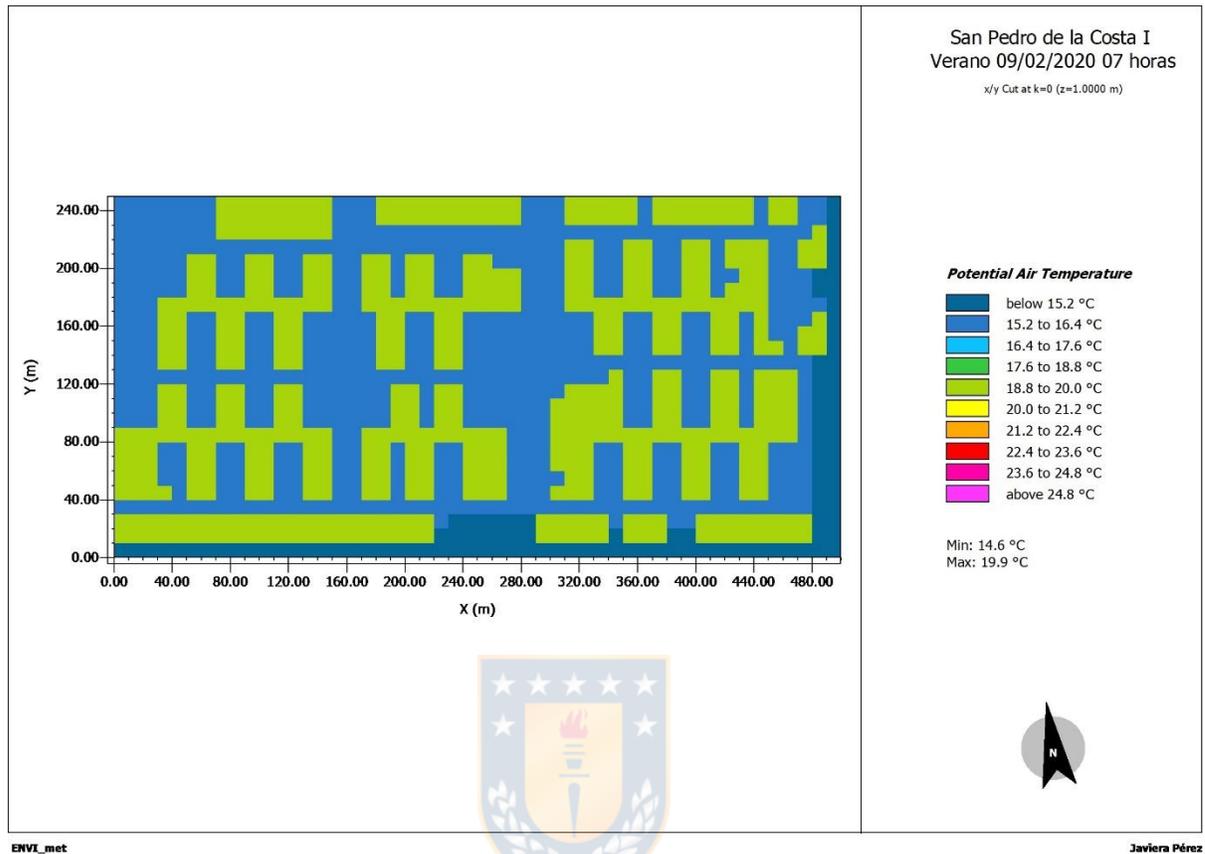
Fuente: Elaboración propia.

## VERANO

Los datos de temperatura, velocidad y dirección del viento utilizados en esta modelación espacial corresponden a los registros reales obtenidos por la estación meteorológica Carriel Sur durante el día 09 de febrero de 2020. La variación en la temperatura del aire ingresada al *software* durante el día fue de 12°C a 25°C. En base a esta variación, a la estructura del barrio, y a la base de datos que usa el programa con la información de San Pedro de la Paz, se genera la modelación.

La temperatura a las 07:00 de la mañana en el espacio abierto del barrio oscila entre 14,6°C y 16,4°C como se observa en la figura 19, no se presentan variaciones de temperatura en el barrio pues es evidente que la mayor parte del área se mantiene entre 15,2°C y 16,4°C.

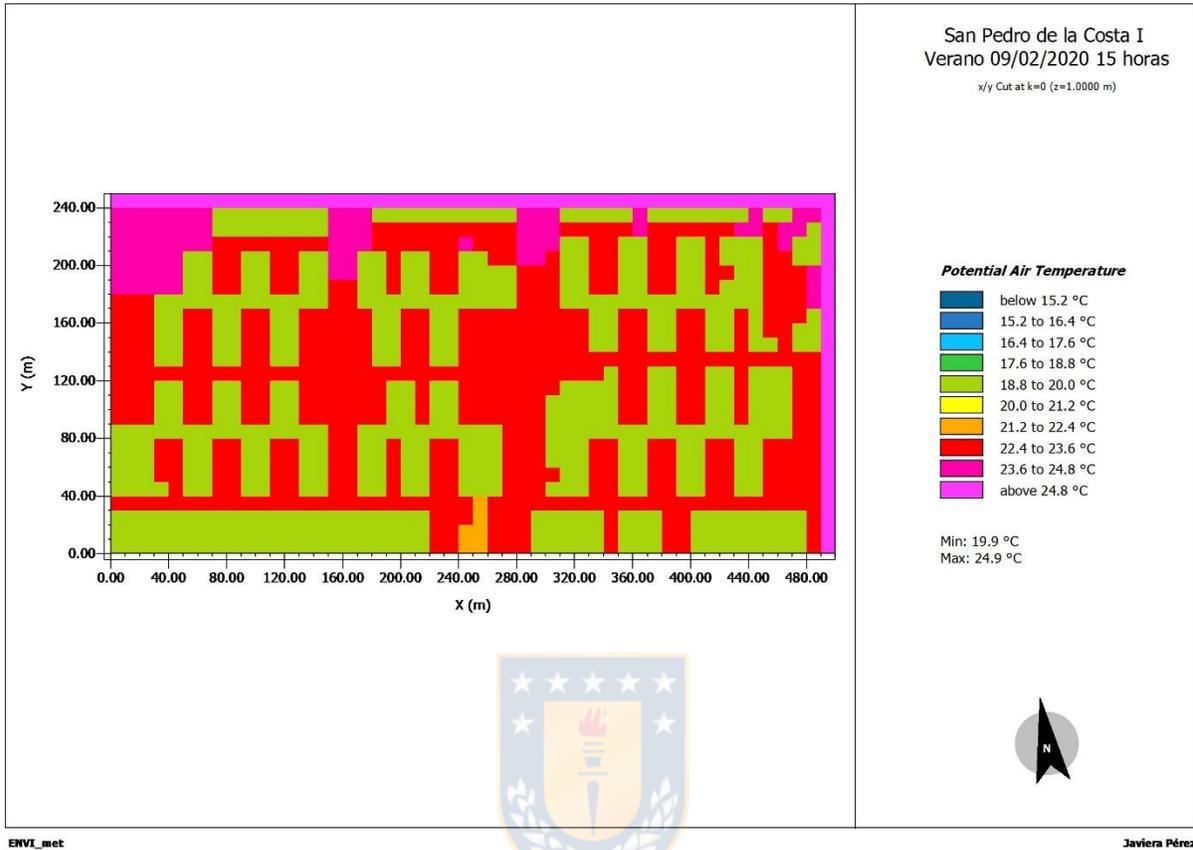
**Figura 19: Temperatura en una mañana de verano en San Pedro De La Costa I.**



Fuente: Elaboración propia.

A las 15:00 horas aumentan las temperaturas hasta alcanzar 24,9°C, sin embargo, la mayor parte del barrio se mantiene entre 22,4°C y 23,6°C en el exterior de las viviendas como se observa en la figura 20, se observan una pequeña área al sur del barrio con temperatura más baja (21,2°C – 22,4°C) y una pequeña área al norte del barrio con temperaturas más altas (23,6°C – 24,8) de lo normal del barrio.

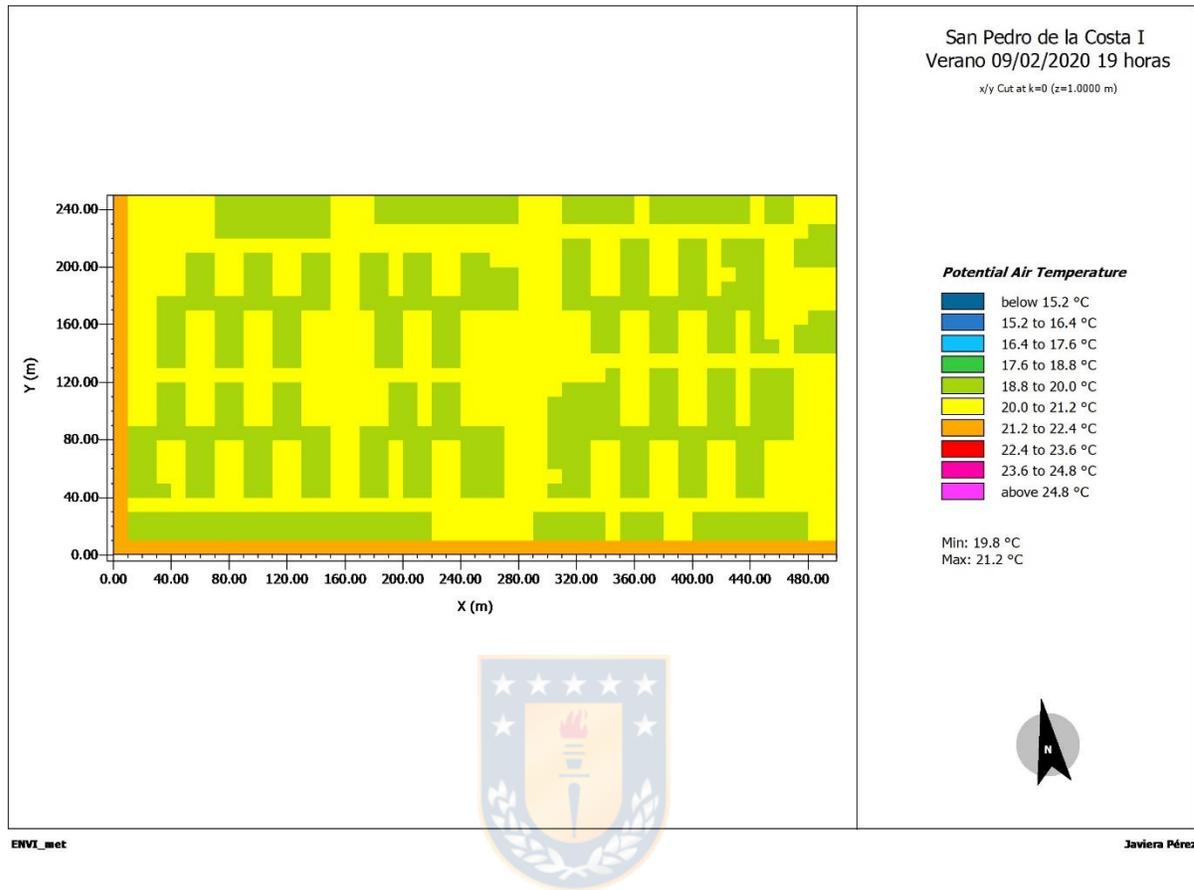
Figura 20: Temperatura en una tarde de verano en San Pedro De La Costa I.



Fuente: Elaboración propia.

A las 19:00 horas como se ve en la figura 21, la temperatura en el barrio es de 20°C a 21,2°C, se mantiene así en toda el área no construida del barrio.

**Figura 21: Temperatura en un atardecer de verano en San Pedro De La Costa I.**



Fuente: Elaboración propia.

En resumen, el comportamiento de las temperaturas en el espacio abierto del barrio a lo largo de un día de invierno varía entre una mínima de 10°C durante la mañana a 15°C durante la tarde, alcanzando allí el máximo de temperatura para luego disminuir a 12°C durante el atardecer. El período de la tarde es el que muestra mayor variación entre las temperaturas en distintas superficies del barrio, se evidencian dos grandes áreas con dos rangos de temperatura que se diferencian entre sí por un grado permaneciendo entre los 13°C y 15°C, esto es relevante, ya que, durante la mañana y el atardecer las temperaturas son más bien homogéneas dentro del barrio.

Durante el verano, el comportamiento de las temperaturas a lo largo del día oscila entre 15,2°C durante la mañana y 24,8°C durante la tarde, si bien esta última corresponde a la máxima del día, el barrio durante este período de tiempo se mantiene mayormente entre 22,4°C y 23,6°C alcanzando el máximo solo en una pequeña parte. Hacia el atardecer, las temperaturas

descienden y se mantienen entre 20°C y 21°C, siendo este momento del día donde la temperatura del barrio es más estable y homogénea.

**Tabla 1: Tabla resumen de las variaciones de temperaturas durante el día en invierno y verano.**

Horario	Invierno	Verano
07:00	Principalmente entre 10°C y 11°C, con un pequeño sector bajo 10°C.	Principalmente entre 15,2°C y 16,4°C, una mínima superficie bajo 15,2°C.
15:00	Principalmente entre 13°C y 14°C y una superficie un poco menor entre 14°C y 15°C.	Principalmente entre 22,4°C y 23,6°C con un área entre 23,6°C y 24,8°C.
19:00	Principalmente entre 12°C y 13°C.	Principalmente entre 20°C y 21°C.

Fuente: Elaboración propia.

*4.4.2 Evaluación del rol de la vegetación en la regulación del microclima urbano a través de una simulación del incremento en su cobertura vegetal en el barrio.*

### **INVIERNO**

La temperatura durante el día de invierno estudiado estuvo entre 8°C y 15°C, para el horario de la mañana (07:00 horas), la temperatura era de 8°C, siendo la mínima del día, la velocidad del viento era de 6 km/h (1,6 m/s), en dirección sureste (140°). En la modelación, las temperaturas del aire oscilan entre una mínima de 9,4°C y una máxima de 19,8°C.

El comportamiento de la temperatura del aire dentro del barrio en condiciones de vegetación actual (15%), oscila entre 9,4°C y 10,5°C mayormente, y entre 10,5°C y 11,5°C en menor medida (Figura 22).

Al realizar el mismo modelo con el 50% de vegetación (Figura 23) se observa una pequeña variación en la distribución de los pixeles de temperatura en la superficie, sin embargo, son diferencias difícilmente perceptibles a simple vista, por lo tanto, se calculan los porcentajes correspondientes a los pixeles de cada rango de temperatura para obtener resultados más detallados (Tabla 2).

Los porcentajes de los píxeles por rangos indican que efectivamente la variación entre el 15% y 50% de vegetación es mínima, con la vegetación actual hay 36,88% de píxeles con temperaturas bajo 10,5°C y con vegetación al 50% hay 36,08% de la misma superficie, siendo una variación muy leve. Mientras, en el rango entre 10,5°C y 11,5°C el modelo de vegetación actual tiene 19,36% y con 50% de vegetación tiene 20,16%, siendo de igual forma una diferencia muy baja entre ambas modelaciones.

Esta variación es similar a la modelación con 90% de vegetación (Figura 24), la que mantiene 35,36% de temperatura bajo 10,5°C, y 20,88% de temperaturas entre 10,5°C y 11,5°C, demostrando que el comportamiento de las temperaturas durante las 07:00 horas no varía significativamente al aumentar la vegetación.

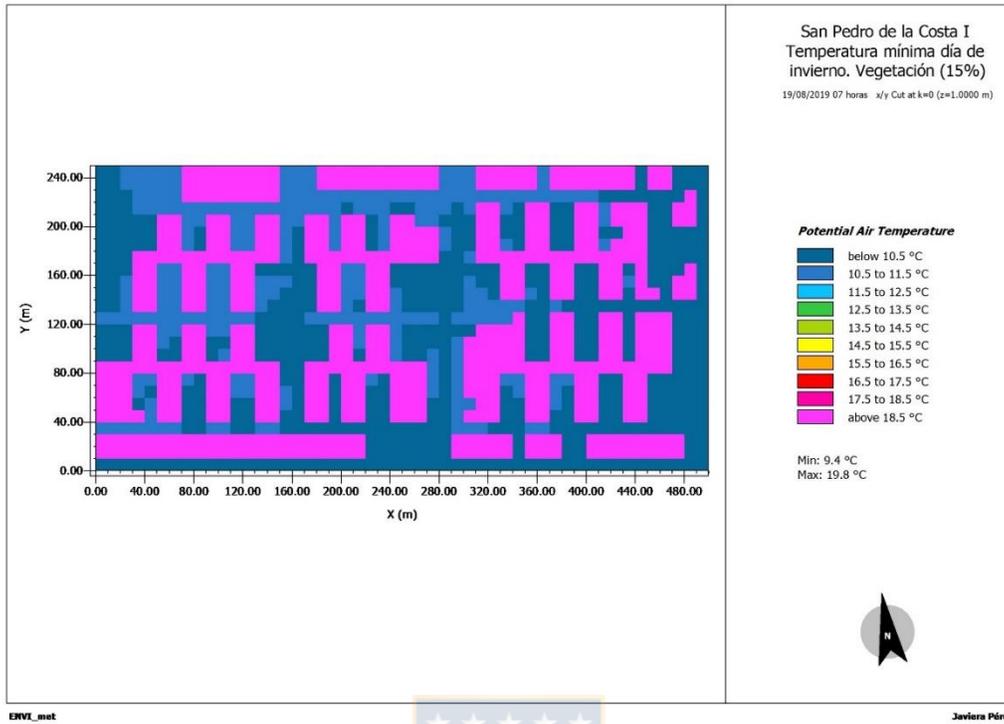
**El desarrollo de estos cálculos permite comprender a partir de la comparación de modelaciones climáticas las variaciones que se generarían al aumentar la vegetación en una microescala, en este caso, para un día frío de invierno se puede decir que al aumentar la vegetación aumenta también la temperatura en el exterior de las viviendas, sin embargo, se considera como una variación de carácter mínima y muy leve, aun así se puede simbolizar como un aporte positivo en la regulación del microclima urbano del barrio durante un día de bajas temperaturas.**

**Tabla 2: Porcentaje de píxeles por rango de temperatura para invierno.**

Cobertura Rangos de T°	Vegetación actual (15% de cobertura)	Simulación 1 de vegetación (50% de cobertura)	Simulación 2 de vegetación (90% de cobertura)
Bajo 10,5°C	36,88%	36,08%	35,36%
10,5°C – 11,5°C	19,36%	20,16%	20,88%

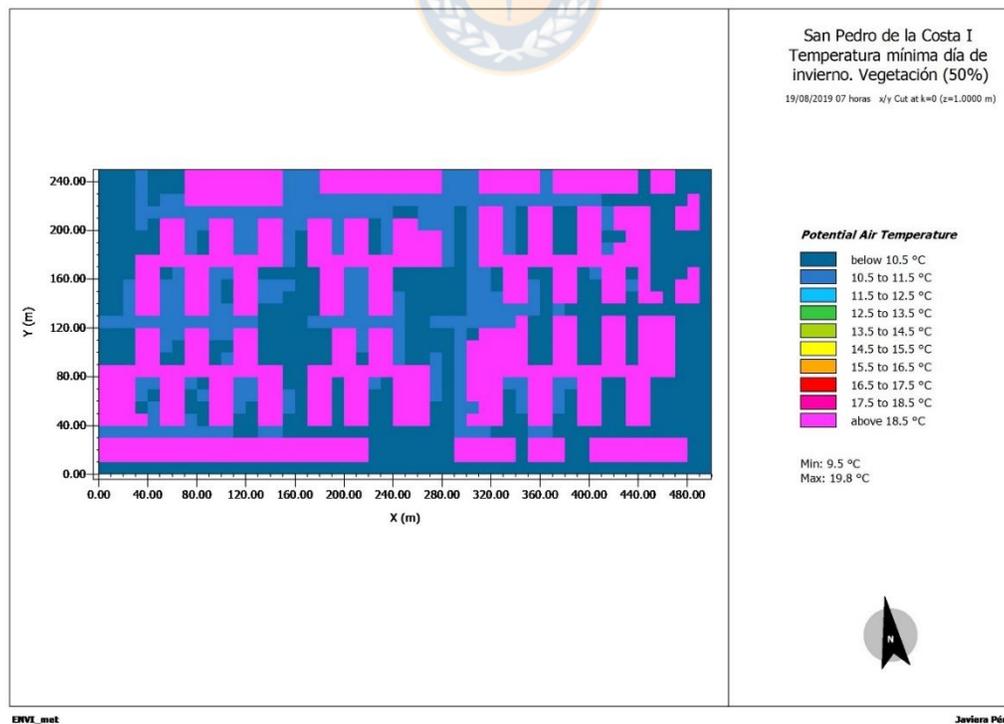
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 22: Temperatura mínima día de invierno con vegetación actual (15%).**



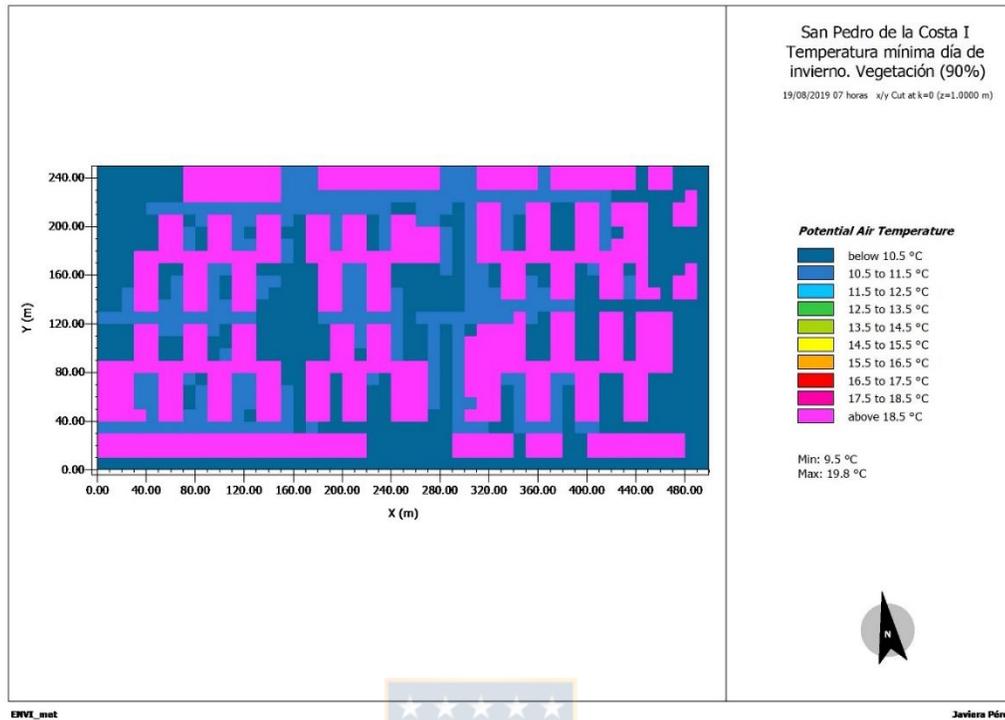
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 23: Temperatura mínima día de invierno con 50% de vegetación**



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24: Temperatura mínima día de invierno con 90% de vegetación.



Fuente: Elaboración propia.

## VERANO

Durante el 09 de febrero del 2020 se registraron temperaturas entre 12°C y 25°C, a las 15:00 horas la temperatura alcanza su máximo del día (25°C). En ese instante el viento tuvo una velocidad de 11km/h (3m/s) con dirección suroeste (225°). La modelación enmarca las temperaturas entre 19,9°C la mínima y 24,9°C la máxima durante ese período de tiempo.

En condiciones actuales de vegetación la temperatura mínima en el exterior de las viviendas oscila entre 22°C y 25°C. Entre estas se evidencian 6 rangos de 0,5°C de diferencia entre ellos. Así, se hace más fácil visualizar las variaciones de temperatura que se presentan en el barrio durante este período. **Al observar las modelaciones se hace notoria la presencia de una mayor cantidad de pixeles de color verde (baja temperatura) en la superficie del barrio entre el modelo con vegetación actual (15%) y el con vegetación proyectada al 90% lo que explícitamente indica una disminución en las temperaturas entre una y otra.** Lo mismo sucede con la variación de los pixeles correspondientes a rangos de mayor temperatura, disminuyen con el aumento de la vegetación, si bien, se logran observar estas características a simple vista, es necesario evaluar porcentualmente los resultados por rango para reconocer las variaciones reales entre los modelos.

Se realiza una porcentualización de los pixeles por rango de temperatura (Tabla 3), esto evidencia que, entre 22°C y 22,5°C en condiciones normales de vegetación se encuentran el 10,96% del barrio,

lo que disminuye a 8,32% para vegetación al 50% y luego aumenta a 20,48% del total de la superficie al aire libre del barrio, esto coincide con la observación previa y confirma (a pesar que disminuya al 50% de vegetación), que con 90% de vegetación la temperatura se regula y aumentan las bajas temperaturas dentro del barrio. Esta variación es la que se observa con mayor facilidad, sin embargo, es necesario analizar el comportamiento de los otros rangos. Con respecto a la distribución es relevante mencionar que esta disminución en la temperatura se genera al norte del área del barrio, lo que se relaciona con la dirección del viento acumulándose en esa dirección.

Entre 22,5°C y 23°C se genera una variación que inicia en el 25,2%, luego 26,96% y finalmente 19,2% para el modelo con vegetación actual, al 50% y al 90% respectivamente, y para el rango entre 23°C y 23,5°C varía entre 7,12%, 9,04% y 6,16% en el mismo orden de porcentaje de vegetación. Estas temperaturas convertidas en porcentajes indican primero que tienen el mismo comportamiento, aumentan al pasar de la vegetación actual (Figura 25) a la con 50% (Figura 26) y luego disminuyen en el modelo con 90% de vegetación (Figura 27), esto significa que al tener 50% de vegetación estos rangos ocupan los espacios donde había mayores temperaturas, regulando la temperatura, pero luego, al aumentar al 90% de vegetación estos mismo son reemplazados por temperaturas aún más bajas. Esto se confirma con el comportamiento de los rangos entre 23,5°C y 24°C y el de 24°C a 24,5°C, ya que, estos solo disminuyen porcentualmente en la medida que se aumenta la vegetación pasando de 4,08% a 2,96% (rojo) y de 2,8% a 1,6% (rosa) entre la vegetación actual y al 90% respectivamente.

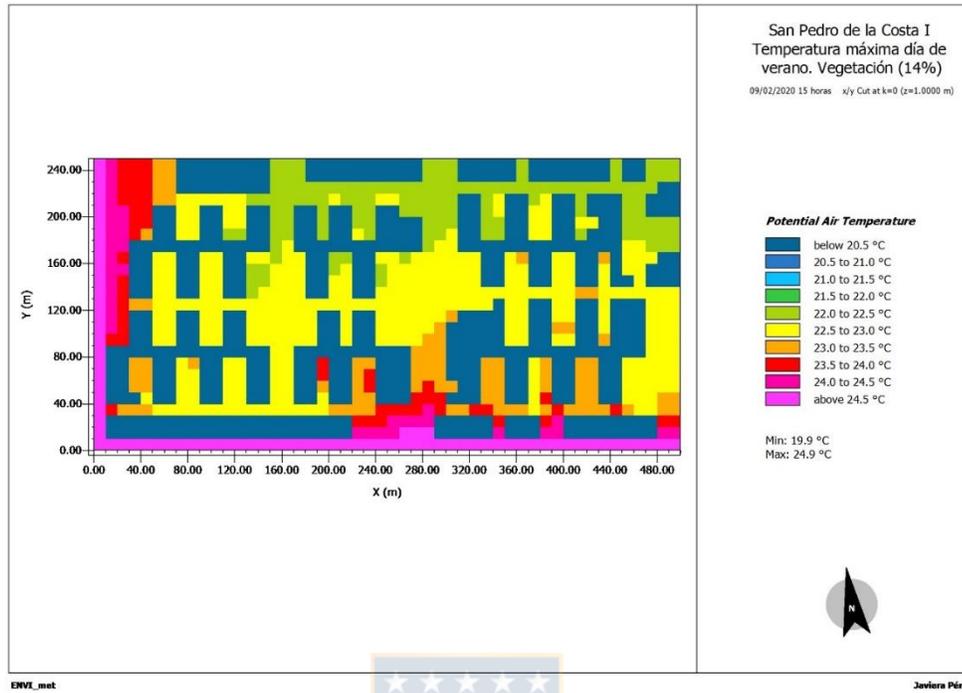
**En la modelación se observa que los pasajes interiores del barrio se ven más frescos cuando hay 90% de vegetación.** En el resultado de la modelación lo que se observa como temperatura máxima en realidad no se considera parte de la simulación real, no es significativo, por lo que se pasa por alto.

**Tabla 3: Porcentaje de pixeles por rango de temperatura para verano.**

Cobertura Rangos de T°	Vegetación actual (15% de cobertura)	Simulación 1 de vegetación (50% de cobertura)	Simulación 2 de vegetación (90% de cobertura)
22°C – 22,5°C	10,96%	8,32%	20,48%
22,5°C – 23°C	25,2%	26,96%	19,2%
23°C – 23,5°C	7,12%	9,04%	6,16%
23,5°C – 24°C	4,08%	4,08%	2,96%
24°C – 24,5°C	2,8%	2%	1,6%
Sobre 24,5°C	6,16%	5,92%	5,92%

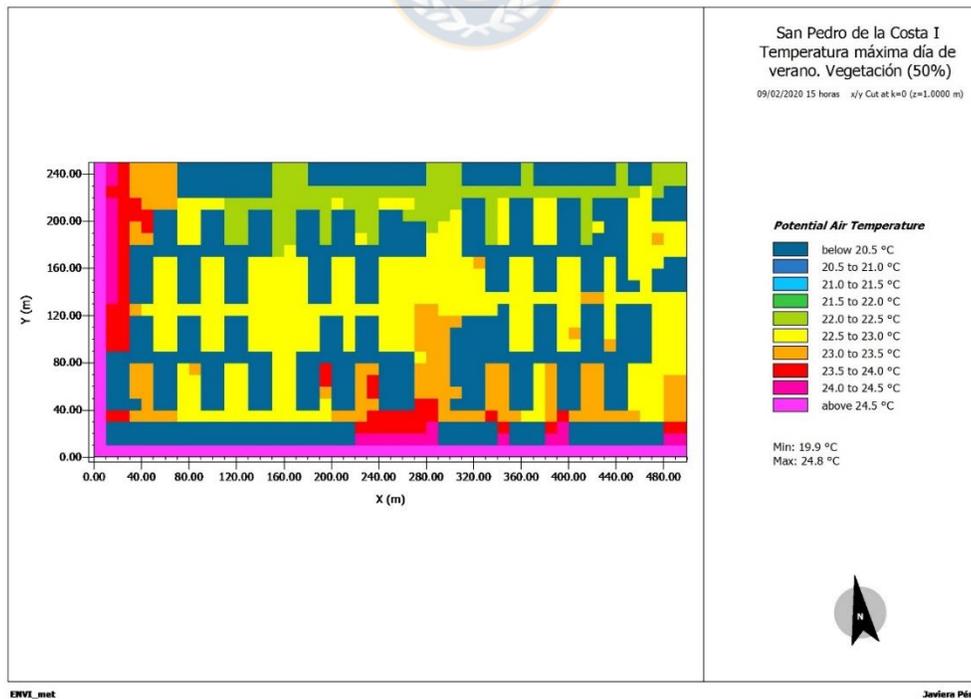
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 25: Temperatura máxima día de verano con vegetación actual.**



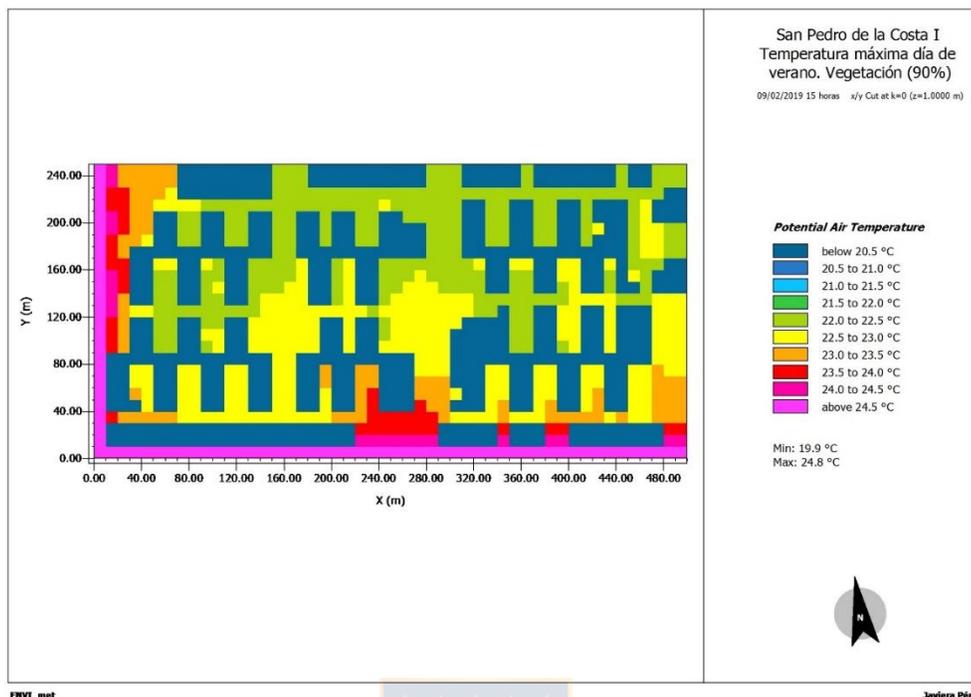
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 26: Temperatura máxima día de verano con 50% de vegetación.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 27: Temperatura máxima día de verano con 90% de vegetación.**



Fuente: Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.3 Evaluación del rol de la vegetación en la regulación del microclima en proyección climática a través de ENVI-met

En esta etapa de los resultados se analiza el rol de la vegetación en la regulación de las temperaturas considerando el aumento de las temperaturas como un efecto del cambio climático, en este sentido, en base a las proyecciones de los “Datos de línea base (1980-2010) y proyección al 2050 por comunas” de la base digital del clima del MMA, se proyecta el aumento de dos grados en el ingreso de los datos climáticos para hacer la simulación. Si bien la proyección es de 1,3°C para invierno y 1,9°C para el verano en la zona litoral de San Pedro de la Paz, se opta por dejar el aumento en 2°C ya que no se pueden incluir decimales.

Se ingresan las temperaturas utilizadas para la modelación anterior, pero aumentadas en 2°C, pues se utiliza la misma fecha de las simulaciones estudiadas, pero se modifica el año actual por el 2050.

#### **INVIERNO**

Las temperaturas para el día 19 de agosto de 2019 a las 07:00 horas fueron entre 8°C y 15°C, por lo que, proyectadas al 2050 quedan entre 10°C y 17°C, se aumenta también la velocidad del viento a 2m/s (de 1,6m/s) y se cambia la dirección del viento, de sureste pasa a suroeste (225°), ya que, mayoritariamente el viento tiene esa dirección, y como es una simulación de una proyección a futuro

se elige esta orientación. En la modelación, las temperaturas son: mínima 11,4°C y máxima 19,8°C, mayor que las temperaturas introducidas y las esperadas para el 2050.

En el caso de que para el 2050 el barrio tuviera la misma estructura y cantidad de vegetación que en la actualidad (15%) (Figura 28) las temperaturas se distribuirían entre los 11,4°C y 13°C, en el exterior de las viviendas, se observa en la modelación una distribución pareja entre el área que se mantendrá bajo 12,2°C y la que estará entre 12,2°C y 13°C.

Es difícil observar a simple vista una variación importante entre las modelaciones en base a la cantidad de vegetación. Sin embargo, se cuenta con los porcentajes de cada superficie (Tabla 4). Estos indican que con vegetación actual el 28,96% de la superficie tendrá una temperatura del aire inferior a 12, 2°C mientras que con 50% de vegetación (Figura29) esta aumenta a 30,72% y con 90% de vegetación a 32,64% (Figura 30). De la misma forma el rango entre 12,2°C y 13°C disminuye (a diferencia del anterior) en la medida que aumenta la vegetación, pasando de 27,36% a 25,6% y finalmente a 23,68% con el aumento de la vegetación respectivamente.

**En base a esto se deja al descubierto que las temperaturas del aire en el barrio disminuirían mientras se aumente la vegetación, esto significa que a pesar que las temperaturas aumenten 2°C aprox. la vegetación es capaz de regular esta situación disminuyendo las temperaturas para que se mantengan lo más parecidas a las condiciones actuales a pesar de su aumento.**

Con respecto a la distribución en el barrio de las temperaturas se puede concluir que es más bien dispersa, con una leve inclinación hacia el centro y sur del barrio con zonas más frías que en el norte del mismo.

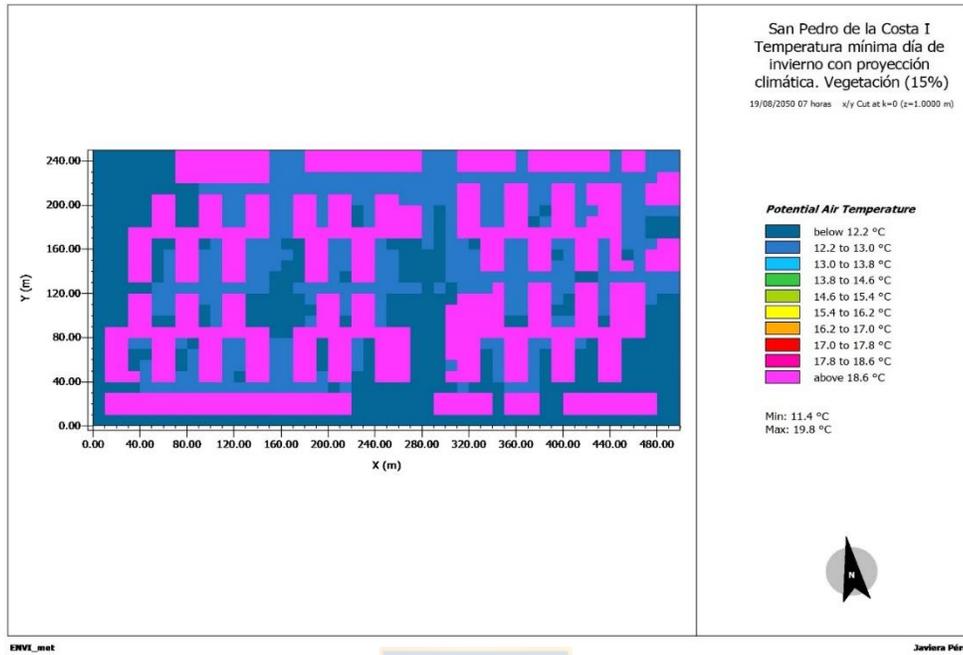
Si bien se presentan variaciones en esta modelación, son rangos con temperaturas bastante similares, lo que hace que la importancia no recaiga en los rangos, sino, en que durante la mañana la temperatura no sobrepase los 13°C y mejor aún sea capaz de regularse y acercarse más a los 12°C, que está más cerca de la temperatura actual del barrio en invierno.

**Tabla 4: Porcentaje de pixeles por rango de temperatura para invierno con variación climática.**

Cobertura Rangos de T°	Vegetación actual (15% de cobertura)	Simulación 1 de vegetación (50% de cobertura)	Simulación 2 de vegetación (90% de cobertura)
Bajo 12,2°C	28,96%	30,72%	32,64%
12,2°C – 13°C	27,36%	25,6%	23,68%

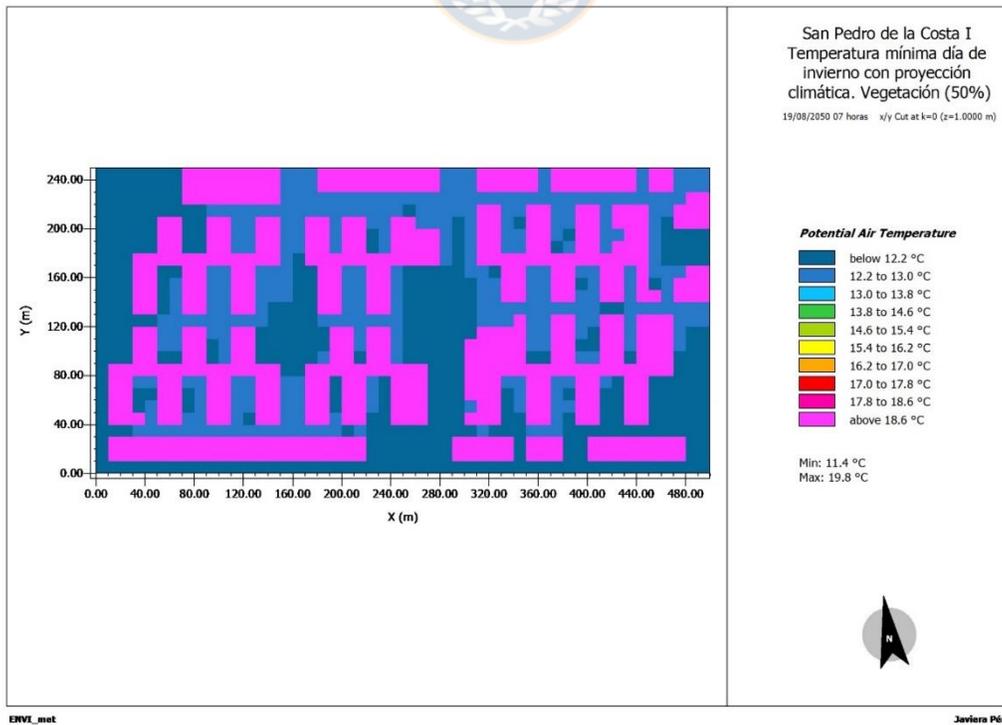
Fuente: Elaboración propia.

Figura 28: Temperatura mínima día de invierno con proyección climática y vegetación actual.



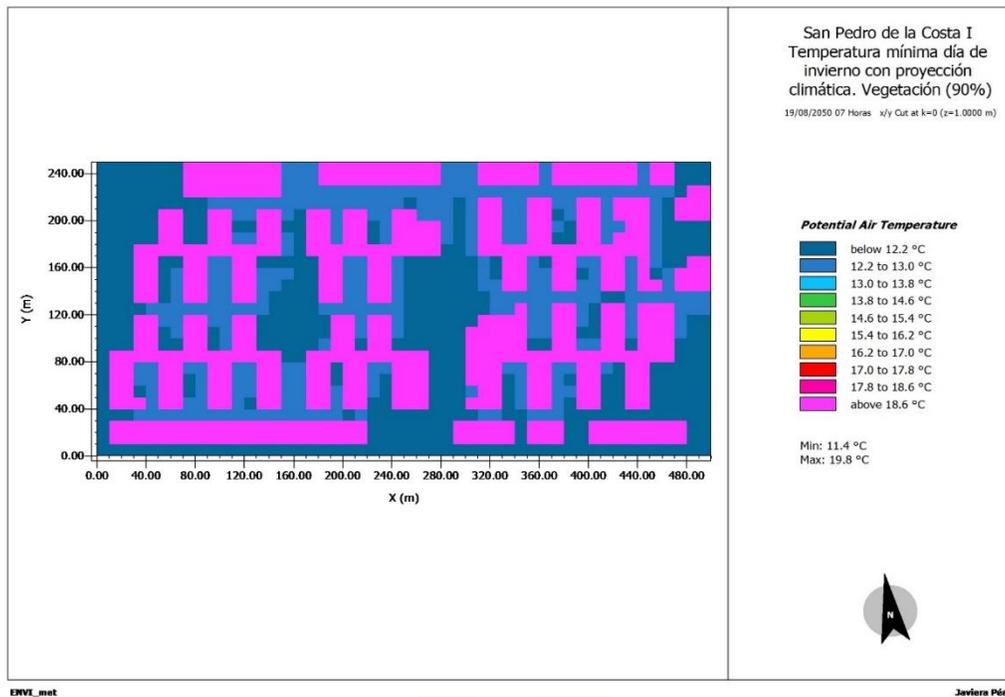
Fuente: Fuente: Elaboración propia.

Figura 29: Temperatura mínima día de invierno con proyección climática y 50% de vegetación.



Fuente: Fuente: Elaboración propia.

**Figura 30: Temperatura mínima día de invierno con proyección climática y 90% de vegetación.**



Fuente: Fuente: Elaboración propia.

## VERANO

Para desarrollar esta simulación climática se usaron los datos del día 09 de febrero del 2020 pero se modificó la fecha al año 2050, a la vez, se aumentan en 2°C los datos existentes, por lo que, se ingresa la temperatura del aire durante el día correspondiente a 14°C y 27°C, con velocidad de 3m/s proveniente del suroeste (225°). En la modelación la temperatura mínima es de 19,9°C y la máxima de 27,8°C, encontrándose por encima de la información de la “Base digital del clima del MMA” con respecto a las proyecciones donde se indica que las temperaturas máximas en la temporada estival en el año 2050 serán de 22,3°C para el litoral en la comuna de San Pedro de la Paz.

Las temperaturas potenciales del aire oscilan entre 19,9°C y 27,8°C, por lo que, los rangos se dividen cada 1°C, el rango con menor temperatura en el exterior es de 24°C a 25°C (verde), el que en el proceso de observación de los resultados modelados para este día de verano con proyección climática presenta una pequeña variación entre la simulación de vegetación actual (Figura 31) y la que tiene 50% (Figura 32), aun así, es bastante leve. A diferencia del modelo con vegetación al 90% (Figura 33) en donde se aprecia más superficie con baja temperatura.

En el resto de los rangos las variaciones no son explícitas, pero se van a comparar entre sí con las aproximaciones porcentuales para analizar el resultado más precisamente (Tabla 5). **El rango de mayor temperatura (27°C - 28°C) disminuye de 8% a 6,6% al aumentar al máximo la vegetación.**

Lo mismo sucede con el rango entre 26°C y 27°C pasando de 8% a 6,96% entre 15% y 50% de vegetación, y luego a 5,04% para el 90%. Ya que estos rangos disminuyeron en superficie los rangos de menor temperatura aumentan. De esta forma se entiende que las máximas temperaturas durante este horario se disipan al aumentar la vegetación.

Al comparar los porcentajes de áreas que se mantienen entre 25°C y 26°C se entienden las variaciones, ya que al tener 15% de vegetación (actual) predominan estas temperaturas con 37%, las que al aumentar al 50% de vegetación aumenta también a 39,04%, pero con 90% de vegetación disminuye considerablemente a 31,52% dando paso al aumento de superficie con temperaturas entre 24°C y 25°C la que en condiciones de vegetación actual constituye solo un 4% de la superficie exterior del barrio que incluso disminuye a 3,44% aumentando la vegetación al 50%, sin embargo, aumentaría a 13,2% si el barrio tuviera 90% de vegetación disponible.

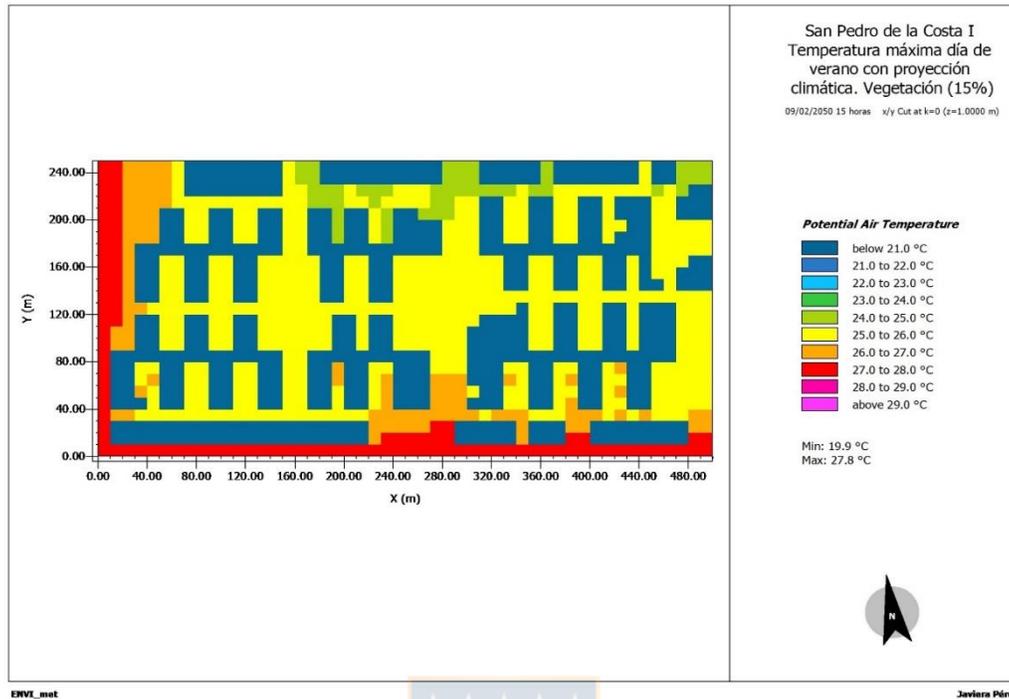
La superficie más fresca se localiza en las manzanas del norte del barrio, mientras que la zona más cálida se encuentra al sur y al este. Si bien allí se observa un borde de máxima temperatura, no se consideran significativas.

**Tabla 5: Porcentaje de pixeles por rango de temperatura para verano con variación climática.**

Cobertura Rangos de T°	Vegetación actual (15% de cobertura)	Simulación 1 de vegetación (50% de cobertura)	Simulación 2 de vegetación (90% de cobertura)
24°C – 25°C	4%	3,44%	13,2%
25°C – 26°C	37,04%	39,04%	31,52%
26°C – 27°C	7,28%	6,96%	5,04%
27°C – 28°C	8%	6,88%	6,56%

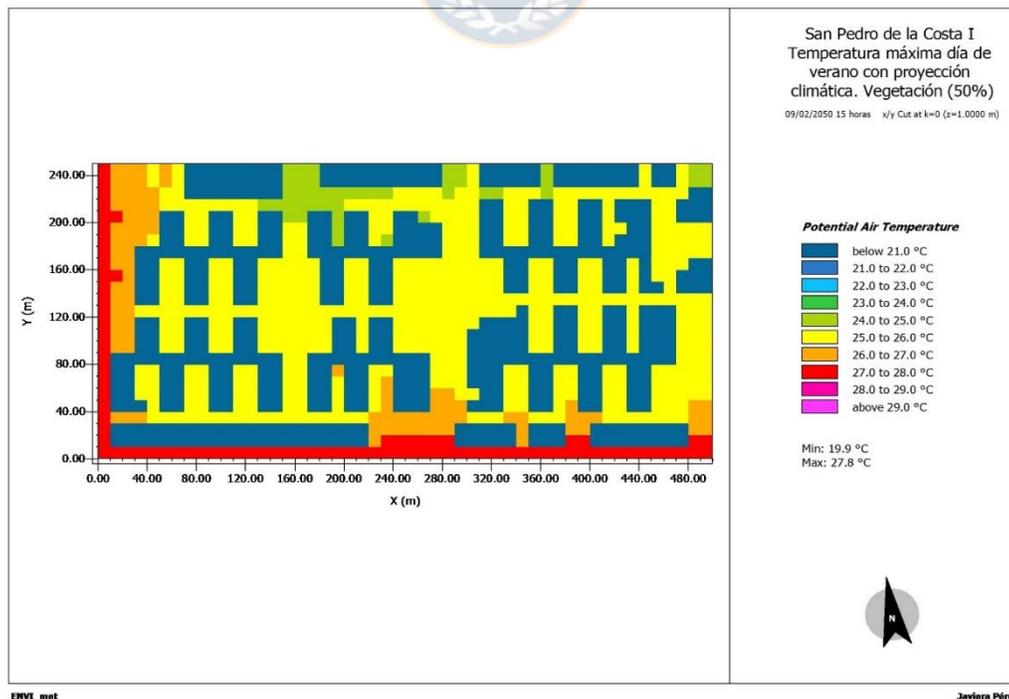
Fuente: Elaboración propia.

Figura 31: Temperatura máxima día de verano con proyección climática y vegetación actual.



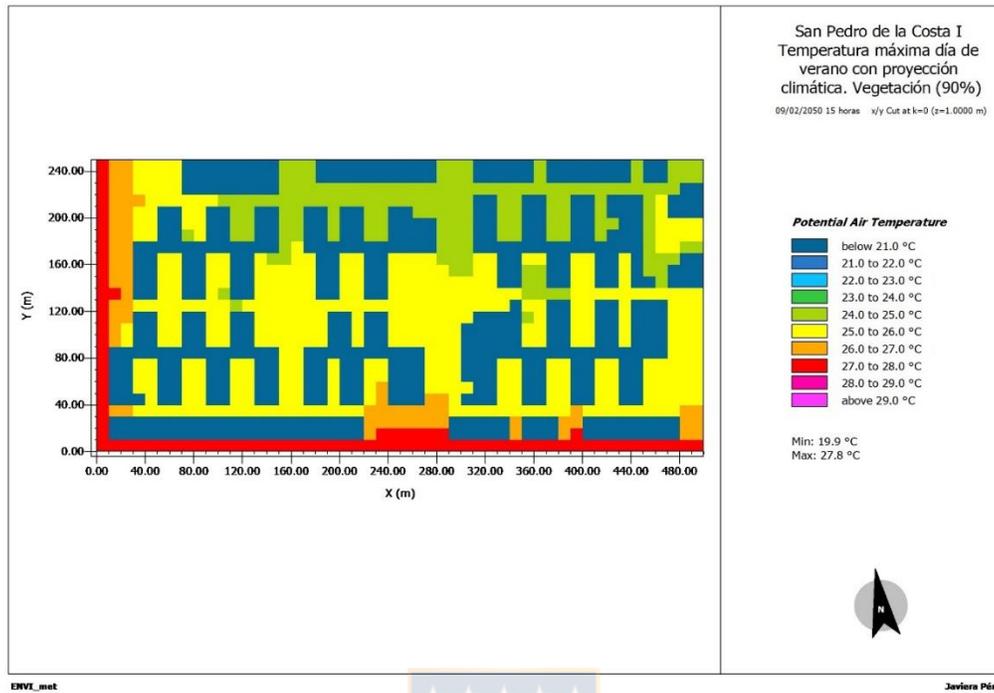
Fuente: Fuente: Elaboración propia.

Figura 32: Temperatura máxima día de verano con proyección climática y 50% de vegetación



Fuente: Fuente: Elaboración propia.

Figura 33: Temperatura máxima día de verano con proyección climática y 90% de vegetación



Fuente: Fuente: Elaboración propia en base a ENVI-met 4.5.



# **CAPÍTULO V DISCUSIÓN**



## 5.1 Discusión

Durante este estudio se ha identificado entre otras cosas el aporte de la vegetación en el comportamiento de un microclima urbano, según (Tumini, 2012) se entiende como microclima urbano a cualquier área dentro de la ciudad que comprenda hasta 1 km de distancia, donde sus características propias interactúen con la atmosfera, las que pueden ser vegetación, materiales de construcción, altura de edificaciones, entre otros. Así, en una ciudad se pueden identificar varios microclimas urbanos y pueden ser determinados por distintos factores presentes en cada zona urbana, los que tienen directa relación con el crecimiento urbano, se estima que el 54% de la población mundial habita actualmente en ciudades, sin embargo, se proyecta que para el 2050 este porcentaje aumentará hasta alcanzar un 66% (ONU,2014), lo que también se ve reflejado en las proyecciones para Chile, donde los cálculos indican que pasará de un 86,3% de población urbana en el año 2002 a 89,1% para el 2035 (INE,2019).

En consecuencia, se evidencia un importante proceso de urbanización en casi todas las ciudades del país, sin embargo, en la comuna de San Pedro de la Paz, se habla de una explosión urbana en las últimas décadas, en las que ha aumentado la población y las áreas residenciales de la ciudad considerablemente, la que en la actualidad concentra una población total de 131.808 habitantes de los cuales 99,9% habita en áreas urbanas según el Censo del año 2017, siendo una de las comunas más pobladas de la región, es por esto que en este caso, se estudió el comportamiento del barrio San Pedro de la Costa etapa I, ya que, es parte de la comuna de San Pedro de la Paz, que en el último tiempo ha experimentado un crecimiento urbano acelerado principalmente hacia la periferia, sobre laderas de la cordillera de la costa, llanuras de inundación fluvial, humedales y planicies litorales como es el caso del barrio estudiado, afectando el entorno natural de la comuna y con esto la calidad de vida de la población, ya que, además de edificar y construir sobre estos entornos históricamente naturales se generan proyectos inmobiliarios con bajos porcentajes de infraestructura verde la que es totalmente insuficiente y además, la vegetación existente no mantiene las características naturales propias del lugar (Oliva 2020) insertando especies que no son parte de ese territorio con el fin único de otorgar un área verde para los habitantes del nuevo conjunto residencial, sin enfocarse en los beneficios climáticos que se alcanzarían con un espacio verde y eficiente que sea *ad hoc* con el espacio construido y que tenga concordancia con su propio entorno.

Este tipo de crecimiento urbano desmedido genera impactos y desequilibrios ambientales de distinto alcance, aumentando sin duda la huella antropogénica, que se traduce en el aumento de residuos, sistema de transporte, entre otros., lo que a su vez contribuye con el cambio climático.

El barrio en estudio fue construido en el año 2005 enmarcado en un proyecto de gestión social para familias altamente vulnerables de la provincia de Concepción, se emplaza sobre una planicie litoral con características de dunas ubicado en un área con baja conectividad hacia los entornos urbanos

próximos, con respecto a la vegetación, no es hasta el año 2013 que se consolidan áreas verdes dentro del barrio, las que corresponden a un 9,37% del área del barrio (Bastías, 2014), las que además son de baja calidad, pues se presenta vegetación herbácea de carácter débil, como pasto ornamental y hierbas esporádicas, y algunas especies de arbustos de menor tamaño.

Los impactos del cambio climático en el barrio San Pedro de la Costa I, radican principalmente en el aumento de las temperaturas, como, días y noches más cálidos, mayor frecuencia de olas de calor y aumento de lluvias torrenciales (muy intensas en cortos períodos de tiempo) (ONU-Habitat, 2011). De esta forma, se induce que los impactos están relacionados principalmente con variaciones de temperaturas (aumento de estas), por lo tanto, manteniendo las condiciones actuales del barrio se puede decir que se encuentran en un escenario que está lejos de ser óptimo para enfrentar los efectos del cambio climático y mejorar la adaptación a estos mismos. Las medidas de adaptación al cambio climático son las que van a determinar finalmente los efectos que las variaciones generen en las áreas urbanas.

Ya que Chile –según ciertos criterios- es un país en vías de desarrollo sus esfuerzos radican en la adaptación al cambio, más que en la mitigación de los elementos contaminantes que incrementan y aceleran el cambio climático como los países desarrollados, que son los principales responsables del total de las emisiones de gases de efectos invernadero a nivel mundial (Reid & Satterthwaite (IIDE), 2007). En este contexto, las investigaciones se han enfocado en identificar las variables más importantes para hacerle frente a los efectos del cambio climático en distintos escenarios y condiciones, en base a esto, la mayoría de los estudios coinciden en que la vegetación para todos estos impactos es determinante, ya que, es capaz de regular las temperaturas extremas y a su vez retener agua mediante el proceso de infiltración, disminuyendo el riesgo de anegamientos e inundaciones.

Autores como Reid & Swiderska (2008) hacen alusión a la importancia de la biodiversidad en la adaptación al cambio climático a gran escala, poniendo énfasis en humedales, manglares y cuencas vegetadas, siempre indicando que la vegetación es primordial para los efectos de altas temperaturas, desertificación, remoción en masa, inundaciones, entre otros asociados al cambio climático, siendo de gran aporte en la regulación de las temperaturas, de la erosión y la infiltración, así mismo, Vásquez (2016) expone los mismos problemas pero a nivel urbano, dándole énfasis a la capacidad de la vegetación de mantener los ciclos ecológicos y la provisión de servicios ecosistémicos para favorecer la adaptación al cambio climático en las ciudades. Autores como Bartesaghi-Koc et al., (2016); Zölch et al., (2016); De la Barrera & Reyes-Paecke, (2020), concuerdan en que la infraestructura verde en sus distintas categorías, formas y escalas urbanas es clave en la adaptación a los efectos negativos de las olas de calor o islas de calor urbano que hacia el futuro se van a incrementar e intensificar en los centros urbanos manifestándose y percibiéndose en todas las

escalas, ya sean, macroescalas o microescalas, donde la vegetación en su tipología, ubicación y cantidad es fundamental.

**Como el enfoque de esta investigación se basa en el rol de la vegetación en la regulación climática en una microescala urbana, que tiene un comportamiento de temperaturas que, si bien no son extremas, durante las mediciones *in situ* son bastante altas a pesar de ubicarse en una zona litoral, estudiar en efecto el rol de la vegetación fue sumamente importante y concuerda con las investigaciones que se han llevado a cabo en el último tiempo, pues, en este caso de estudio, el incremento de la vegetación si es un ente importante de regulación microclimática, ya que se ha demostrado que al aumentar considerablemente la infraestructura verde dentro del barrio se regula la temperatura. Aunque, los resultados indiquen que la temperatura se regula con el aumento de la vegetación, es de igual importancia mencionar que para que esto suceda hay que aumentar de 15% a 90% la cantidad de vegetación en los espacios no construidos dentro del barrio para que esta variación sea significativa, lo que en la realidad se dificulta bastante, por la forma en la que está construido el barrio dejando libre pocos espacios públicos no pavimentados donde pudiese existir mayor vegetación, o por la falta de interés de los habitantes, que muchas veces y por razones totalmente entendibles prefieren pavimentar los espacios no pavimentados de sus patios o antejardines para ocuparlos como estacionamientos o darles un uso que deja de lado la vegetación. En este sentido, sin duda hace falta mayor educación ambiental y mayor compromiso de las autoridades de la comuna.**

Con el avance del estudio del clima urbano se ha perfeccionado el uso de la teledetección y los SIG como herramientas de análisis, facilitando los cálculos climáticos. Se utilizan *ArcGis 10.3* y *ENVI-met* para analizar las condiciones climáticas del barrio, estas herramientas fueron elementales para obtener los resultados. *ArcGis* por su parte permite identificar la vegetación presente en el barrio a través de la digitalización de polígonos, la que luego se contrasta con las temperaturas obtenidas de los sensores de temperatura ubicados en el barrio a través de la opción de interpolación de datos que entrega el programa, de esta forma se visualiza el comportamiento de la temperatura del barrio durante el día para invierno y verano logrando la primera aproximación al cumplimiento de la hipótesis, ya que se evidencia una relación positiva entre mayor vegetación y menor temperatura. Esto a su vez se define como una isla de calor atmosférica a baja escala ubicándose entre el suelo y el nivel de los techos, donde las variaciones de temperaturas afectan directamente a los habitantes creando condiciones atmosféricas diferentes a pocos metros de distancia producto de los elementos urbanos presentes en el lugar, principalmente la vegetación.

La tipología, distribución, tamaño y cantidad de vegetación es esencial, pues estas pueden tener muchas variaciones. Dentro de los elementos de la biodiversidad urbana relevantes en el control del microclima se encuentran, el arbolado urbano, los techos verdes, los muros verdes, y todo tipo de

vegetación urbana, sin embargo, en el barrio no se identifican ni techos ni muros verdes, solo arbolado y tipos de vegetación herbácea de menor incidencia en la regulación microclimática. Bartesaghi-Koc et al., (2017); Teresa Zölch et al., (2016); Venter et al., (2019) y Cole et al., (2014) son algunos autores que en su investigación han concluido que los árboles dentro de la ciudad son el elemento de la vegetación que más aporta en la adaptación a las altas temperaturas, siendo los más relevantes para la regulación del microclima a escala de suelo, esto se confirma con los resultados de la interpolación, ya que, al menos la vegetación herbácea no tuvo mayor incidencia en las temperaturas, a diferencia de la presencia de árboles que demostró ser determinante, evidenciándose el sector este del barrio que es el que presenta mayor cantidad del tipo arbórea con temperaturas más bajas, mientras que en el sector con mayor cantidad de vegetación herbácea y menor de vegetación arbórea se alcanza el máximo de temperatura, por lo tanto, no solo es importante que existan espacios verdes en el barrio, sino que las características de la vegetación se enfoquen en ser realmente eficientes para sus necesidades. De esta forma, al utilizar *Envi-met* y generar las simulaciones que modifican las condiciones del barrio, ya sean climáticas o estructurales para visualizar su comportamiento en otros escenarios, se hace fundamental incluir principalmente vegetación arbórea.

El programa *Envi-met* tiene una base de datos con distintas especies de vegetación que es muy completa, se pueden incluir, por ejemplo, distintas especies de árboles que mantengan formas de follaje específicas e incluso la altura que pueda tener cada árbol, lo mismo con especies de arbustos o herbáceas, lo que genera resultados más específicos, sobre todo en áreas de estudio más acotada que la estudiada en este caso, un área menor se traduce en un mayor detalle en los resultados. **En la simulación desarrollada en el barrio se ubicaron arboles de hasta 15 metros y con distintos tipos de follajes distribuidos por todo el barrio, al igual que la vegetación herbácea, insertada en menor cantidad en forma de pasto. Los resultados de la modelación espacial en *Envi-met* confirman que la vegetación es capaz de regular la temperatura del aire dentro del microclima urbano, y mientras más vegetación exista menor serán las islas de calor atmosféricas en el barrio, sobre todo en días de verano cuando las temperaturas sean más altas.**

La temperatura aumentará aproximadamente dos grados al año 2050 producto de los efectos del cambio climático, si aumentar la vegetación, principalmente arbórea en el barrio ya es positivo para enfrentar las altas temperaturas y las islas de calor atmosférica y superficial actuales, es aún más necesaria para los próximos años donde las temperaturas serán mayores. A pesar de que la temperatura máxima proyectada en la zona litoral de San Pedro de la Paz para el periodo estival del 2050 es de 22,3°C según la base digital del clima (MMA, 2016), la estación meteorológica Carriel Sur para el día de verano estudiado registró una máxima de 25°C, la que se encuentra muy por encima aún de las proyecciones futuras, la misma que según el registro de los sensores de temperatura *in situ* alcanza los 30°C el mismo día en una locación dentro del barrio, se entiende que

el calor superficial afecte de algún modo las mediciones *in situ* por el lugar en el que sea ubicado el sensor, sin embargo, las proyecciones desarrolladas por el MMA en base a las temperaturas de las últimas décadas podrían indicar una proyección más desacelerada de lo que realmente es, ya que, los resultados de la investigación indican mayores temperaturas que las proyectadas. En cualquier caso, la temperatura será al menos 1,5°C más alta en el 2050, en efecto, aumentar la vegetación del barrio, sobre todo con elementos relevantes para regular el microclima urbano como arbolado y estructuras verdes al 50% o más marcaría la diferencia y regularía el microclima con variación climática o sin esta.

Este estudio se centra en un microclima costero, donde a pesar del aumento de las temperaturas producto del cambio climático, no se alcanzarán temperaturas extremas u olas de calor prolongadas en el tiempo como si sucederá en los barrios de las ciudades al interior del país, por esta razón, es relevante que este tipo de estudios aplicando metodologías similares y mejoradas que idealmente no presenten las mismas limitaciones de esta investigación puedan realizarse en distintos microclimas urbanos para que se tomen medidas de adaptación al cambio climático adecuadas a las necesidades de cada territorio y desde el conocimiento, proyectando los efectos a los que se enfrentarán para poder lograr adaptarse a tiempo y también entender la importancia de la vegetación urbana en cada una de sus formas, con el fin de articular y guiar el camino en la toma de decisiones de todos los actores sociales en conjunto.

## 5.2 Limitaciones del estudio

Las principales limitaciones del estudio tienen relación con la utilización del programa *Envi-met*. El programa es muy útil para simular condiciones urbanas microclimáticas, pero existen varias condiciones que van a influir en la precisión de los resultados. Primero, la versión gratuita del programa en general tiene ciertos límites, el que más se distingue tiene que ver con el tamaño del área de la simulación generando un problema de escala en la digitalización de los elementos del barrio, ya que, un pixel abarca un espacio muy grande y así disminuye el detalle de la información. Aun así, se hace un estimado en las dimensiones de los elementos del barrio. Segundo, los datos climáticos ingresados al programa para desarrollar la simulación corresponden a la estación meteorológica Carriel Sur ubicada a 8,5 km de San Pedro de la Paz, siendo la más cercana al área de estudio, para mejorar la precisión de estos datos hubiese sido particularmente beneficioso tener una estación meteorológica más cercana al lugar, al menos que estuviera dentro de la comuna, así los resultados serían más precisos. Tercero, las modelaciones poseen errores en algunos de los bordes lo que genera una pequeña inconsistencia con la realidad de los resultados, sin embargo, no se toma en cuenta en el análisis ya que no es significativo. Por último, los conocimientos sobre el manejo de las funciones del programa finalmente son los que determinan los resultados, a mayor experiencia, mejores resultados, por lo tanto, es necesario seguir aprendiendo sobre su

funcionamiento, que, sin duda, podría generar mejores resultados y ser de mayor aporte que los obtenidos si se solucionaran las limitaciones mencionadas, aun así, los resultados son consistentes.

Con respecto a los sensores de temperatura *in situ*, se podría mejorar el resultado si su distribución en el barrio fuera más uniforme, no ubicarlos tan juntos para que no se genere inconsistencia al realizar la interpolación en *ArcGis* y con el mismo objetivo haberlos ubicado al menos en cada manzana para obtener datos más certeros y visualizar mejor el comportamiento de las temperaturas del barrio.



# **CAPÍTULO VI CONCLUSIÓN**



## Conclusión

Las condiciones estructurales del barrio San Pedro de la Costa I van a determinar el comportamiento y las características de este microclima urbano. Dentro del barrio se identifica el arbolado urbano como el elemento de la vegetación predominante y más efectivo para la regulación de las temperaturas urbanas en este microclima, ya sea con la cantidad de vegetación actual, equivalente al 15% del espacio no construido del barrio, o bien al aumentarla al 50% o bien al 90%, en todos los casos la vegetación va a ser capaz de regular las temperaturas del barrio, principalmente durante la tarde donde se registran las máximas del día y durante el verano, que es cuando se alcanzan las máximas anuales. Lo mismo sucede con las proyecciones climáticas al 2050, con un aumento de 2°C aproximadamente, los resultados indican que las máximas temperaturas registradas durante el día son suavizadas al comparar la vegetación existente en el barrio con un escenario donde la vegetación sea de 90% del área no construida, además, en las simulaciones de los casos de verano se evidencia que el barrio con vegetación actual tenía mayormente cierta temperatura, mientras que al aumentar la vegetación al 90% esta área disminuía para ser reemplazada por temperaturas más bajas, por lo que se incide en que el aumento de la vegetación disminuiría las temperaturas en casos de eventos extremos de calor, lo mismo sucede con los días de invierno, donde la vegetación cumple un rol térmico para los días fríos, mientras mayor vegetación se presente en el barrio, las temperaturas bajas van a aumentar, en este caso son cambios mucho más leves que durante las simulaciones de verano.

Los sensores de temperatura *in situ* son un buen método para estudiar las características climáticas de un microclima urbano, mientras la ubicación de los sensores sea oportuna e idealmente distribuida por toda el área de estudio, de esta forma se facilita la interpolación de datos en ArcGis y se obtienen resultados más certeros. Con respecto a Envi-met, se concluye que es una herramienta sumamente útil para procesos de análisis de simulaciones espaciales que involucre situaciones climáticas y ambientales.

The crest of the University of the Pacific is centered behind the chapter title. It features a shield with a blue background, a central yellow rectangle containing a red flame, and a white laurel wreath at the base. The shield is surrounded by a blue border with white stars.

# **CAPÍTULO VII REFERENCIAS**

- Alarcón, A. (2009). *Análisis de la relación entre morfología y microclima urbano y el material particulado en las comunas de Santiago Centro y Las Condes*. Tesis para optar al grado de Magister. Universidad de Chile, Santiago. Recuperado de <http://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Alarc%C3%B3n,%20Alicia.pdf>
- Arcos, A. (2016). *Leyes de la plaza del barrio: Criterios para su funcionamiento como elemento urbano*. Fundación mi Parque. Proyecto de título. Universidad de Talca, Talca. Recuperado de [https://www.miparque.cl/wp-content/uploads/2017/04/2016-MiParque02-Leyes\\_de\\_la\\_Plaza\\_de\\_Barrío.pdf](https://www.miparque.cl/wp-content/uploads/2017/04/2016-MiParque02-Leyes_de_la_Plaza_de_Barrío.pdf)
- Bartesaghi Koc, C., Osmond, P. & Peters, A. (2016). *Towards a comprehensive green infrastructure typology: a systematic review of approaches, methods and typologies*. Urban Ecosyst 20, 15–35 (2017). Recuperado en <https://doi.org/10.1007/s11252-016-0578-5>
- Bastías, C. (2014). *Espacio Público y seguridad. Análisis espacial del diseño urbano en el sector de San Pedro de la Costa y sus representaciones en la percepción de seguridad y calidad de vida de sus habitantes*. Seminario de título para optar al grado de arquitecto. Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
- Bruse, M. (2004). ENVI-met 3.0: Updated Model Overview. [www.envi-met.com](http://www.envi-met.com)
- Caballero, E. (sin fecha). *Microclimas urbanos: La importancia de los materiales departamento de geografía y ciencias del territorio*. El Clima entre el Mar y la Montaña (2004). Asociación Española de Climatología y Universidad de Cantabria, Serie A, nº 4, Santander, pp. 571-582
- Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS). (2019). *Informe Final. Diagnóstico participativo y lineamientos para el plan local de acción: Caminabilidad y Confort Térmico en San Pedro de la Costa I*. Laboratorios Urbanos, Unidad Política y Práctica.
- Chicas, J. (2012). *Morfología urbana y clima urbano estudio de microclimas urbanos en Santiago de Chile, mediante la aplicación del concepto de cañón urbano e índices de confort térmico*. Tesis para optar al grado de Magister. Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Clima Adaptación Santiago (CAS) Adaptación al cambio climático en Megaciudades de América Latina, Krellenberg, K., Jordán, R., Rehner, J., Schwarz, A., Infante, B., Barth, K., Pérez, A. (Editores), Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Copyright © Naciones Unidas, enero de 2013. Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile, pp.7,8.
- Cole, D., Dietsch, N., Gero, G., Hitchcock, D., Lewis, M., Magee, J., ... & Zalph, B. (2014) *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Heat Island Reduction Activities*. Environmental Protection Agency's Office of Atmospheric Programs, Washington D.C, U.S.

- Coma, J., Pérez, G., De Gracia, A., Burés, S., Urrestarazu, M. & Cabeza, L. (2016). *Vertical greenery system for energy saving in buildings: A comparative study between Green walls and Green facades*. *Building and Environment*. 111. Recuperado en DOI: [10.1016/j.buildenv.2016.11.014](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.014)
- Conde, C., Pabón, D. & (2013). *Capítulo II: La importancia de la información climática y el desarrollo urbano*. En Sánchez, R. (Eds.) *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina*. pp. 25-40. CEPAL – Colección Documentos de proyectos. Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- De la Barrera, F. & Henríquez, C. (2016). *“Labeling” the context to simulate smart decisions: quantification and communication of ecosystem services provided by urban parks*. Proyecto: “Modelación de servicios ecosistémicos de parques urbanos en sectores metropolitanos” FONDECYT de Postdoctorado N ° 3150403, Chile. Recuperado en [Modelación de servicios ecosistémicos de parques urbanos en sectores metropolitanos” FONDECYT de Postdoctorado N°3150403 , Chile](#)
- De la Barrera, F., Henríquez, C., Ruiz, V. & Inostroza, L. (2019) *Urban Parks and Social Inequalities in the Access to Ecosystem Services in Santiago, Chile*. IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 471. Recuperado en <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/471/10/102042/pdf>
- De la Barrera, F., Reyes-Paecke, S. (2020). *Green infrastructures to mitigate extreme temperatures in cities*.
- Fernandez, F. & Martilli, A. (2012) *El Clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid*. Índice: *Revista de Estadística y Sociedad*, ISSN-e 1696-9359, N°. 50, (2012). Pp. 21-24.
- Fernández, I. y De la Barrera, F. (2018) *Biodiversidad urbana, servicios ecosistémicos y planificación ecológica: un enfoque desde la ecología del paisaje*. Capítulo 4. Pp.113-146.
- Fuentes, C. (2015). *Climatología urbana por modificación antropogénica. Alteración del balance de energía natural*. *Revista de la Facultad de Arquitectura Universidad Autónoma de Nuevo León*, ISSN 2007-1639, Vol. 9, N°. 11 (2016), pp. 73-91.
- Gallagher, S. (7 noviembre de 2019) *What is green roofing?*. *RoofingCompare.com*. Recuperado de <https://www.roofingcompare.com/green-roofing.html>

- Herrera, P. (2008). *Infraestructura de soporte de la biodiversidad: Planificando el ecosistema urbano*. Ciudades: Revista del Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid, ISSN 1133-6579, Nº. 11, (2008). Pp. 167-187.
- Higuera, Á. & García, R. (2009). *Microclima Urbano: La Isla Urbana de Calor*. Conference: Congreso Nacional de Estudiantes de PosgradoAt: Mexicali, B.C., México. Recuperado en <https://www.researchgate.net/publication/271840822>
- Inostroza, L., Palme, M., De la Barrera, F. (2016). *A Heat Vulnerability Index: Spatial Patterns of Exposure, Sensitivity and Adaptive Capacity for Santiago de Chile*. PLoS ONE 11(9): e0162464. Recuperado en <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162464>
- Instituto Geográfico Nacional (IGN), (2018). Centro nacional de información geográfica, Gobierno de España, Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana. España.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2019). *Estimaciones y proyecciones de la población de Chile 2002-2035. Totales regionales, población urbana y rural. Síntesis de resultados*. Recuperado en [https://www.ine.cl/docs/default-source/proyecciones-de-poblacion/publicaciones-y-anuarios/base-2017/ine\\_estimaciones-y-proyecciones-2002-2035\\_base-2017\\_reg\\_%C3%A1reas%C3%ADntesis.pdf?sfvrsn=aaeb88e7\\_5](https://www.ine.cl/docs/default-source/proyecciones-de-poblacion/publicaciones-y-anuarios/base-2017/ine_estimaciones-y-proyecciones-2002-2035_base-2017_reg_%C3%A1reas%C3%ADntesis.pdf?sfvrsn=aaeb88e7_5)
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 páginas.
- Langemeyer, J., Wedgwood, D., McPhearson, T., Baró, F., Madsen, L. & Barton, D. (2019) *Creating urban green infrastructure where it is needed – A spatial ecosystem service-based decision analysis of green roofs in Barcelona*. Science of the Total Environment, Volume 707(2020), 135487. Recuperado en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719354804?via%3Dihub>
- Lobaccaro, G. & Acero, J. (2015) *Comparative analysis of green actions to improve outdoor thermal comfort inside typical urban street canyons*. Urban Climate, Volumen 14, Parte 2, 2015. Pp. 251-267. Recuperado en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095515300262>
- McMahon, E. & Benedict, M. (2006) *Green infrastructure: Linking Landscapes and Communities*. Landscape Ecology 22, 797–798 (2007). Island Press, Washington, DC, Estados Unidos. Recuperado en <https://doi.org/10.1007/s10980-006-9045-7>

- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2017). *Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022*. Coordinación del documento: División de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente. Chile.
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2018). *Plan de Adaptación al CC en Ciudades 2018-2022*. Coordinación: Ministerio del Medio Ambiente, Revisión de contenidos: Ministerio de Vivienda y Urbanismo (En proceso de edición y diseño)
- Moraga, G. & Sartori, A. (2017). *Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV) CHILE*. Ministerio de Agricultura (MINAGRI). Recuperado en [https://www.conaf.cl/cms/editorweb/ENCCRV/ENCCRV-3a\\_Edicion-17mayo2017.pdf](https://www.conaf.cl/cms/editorweb/ENCCRV/ENCCRV-3a_Edicion-17mayo2017.pdf)
- Moreno, M. (1997). "Una propuesta de terminología castellana en climatología urbana". *Investigaciones geográficas*. 1997, nº 17, pp. 89-97. Recuperado en <https://www.investigacionesgeograficas.com/article/view/1997-n17-una-propuesta-de-terminologia-castellana-en-climatologia-urbana>
- Montoya, J. (2016), *Reconocimiento de la biodiversidad urbana para la planeación en contextos de crecimiento informal*. Cuadernos De Vivienda Y Urbanismo, 9(18), 232-275. Recuperado en <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu9-18.rbup>
- Muñoz, J., Barton, J., Frías, D., Godoy, A., Bustamante, W., Cortés, S... & Wagemann, E. (2019) *Ciudades y cambio climático en Chile: Recomendaciones desde la evidencia científica*. Santiago. Comité Científico COP25. Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Chile.
- Mutizwa-Mangiza, N., Arimah, B., Jensen, I., Abera Yemeru, E., & Kinyanjui. M. (2011). *Las ciudades y el cambio climático: Orientaciones para políticas. Informe mundial sobre asentamientos humanos 2011*. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. Resumen Ejecutivo. Recuperado en <https://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/onu/538-spa-ed2011-sum.pdf>
- Nowak, D. (2010). *Urban Biodiversity and Climate Change*. En Müller, N., Werner, P. & Kelcey, J. *Urban Biodiversity and Design* (1st edition) Blackwell Publishing Ltd. pp. 101-117.
- Ochoa de la Torre, J. (1999) *La vegetación como instrumento para el control del Microclimático*. Tesis para optar al grado de Doctor: Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona. Recuperado en <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93436/01JMot01de12.pdf>
- Oke, T.R. *Boundary layer climates*. York: Methuen and Co LTD. (1978). En Cordero, X. (2014). *Microclima y confort térmico urbano. Análisis sobre la influencia de la morfología del cañon*

urbano. Caso de estudio en los barrios El Raval y García, Barcelona. Máster en Arquitectura, energía y medio ambiente. Escuela técnica superior de arquitectura de Barcelona.

Oliva, A. & De la Barrera, F. (2020) *Efectos de la expansión urbana sobre la infraestructura verde de la conglomeración San Pedro de la Paz, Coronel y Lota*. Tesis de pregrado. Universidad de Concepción, Concepción. Recuperado en <https://www.researchgate.net/publication/344210858>

“ONU: Crece población urbana en el mundo”. (11 Julio 2014) Voz de América. Recuperado en <https://www.voanoticias.com/noticias-internacional/reporte-mega-ciudades-problemas>

Park, J., Kim, Jun-Hyun., Kun Lee, D., Yeon. C., Gyu Jeong, S. (2016) *The influence of small Green space type and structure at the Street level on urban heat island mitigation*. Urban Forestry & Urban Greening 21. Pp. 203-212. Recuperado en DOI: [10.1016 / j.ufug.2016.12.005](https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.12.005)

Quesada, L. (2019) *¿Qué es la interpolación espacial de datos?*, Asociación Geoinnova: Profesionales del SIG y Medio Ambiente. Recuperado en <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-la-interpolacion-espacial-de-datos/>

Reid, H. & Satterthwaite, D. (2007). *Cambio climático y ciudades: Por qué son centrales las agendas urbanas en la adaptación y la mitigación*. International institute for environment and development (IIDE). Desarrollo sostenible opinión.

Reid, H. y Swiderska, K., (2008). *Biodiversidad, cambio climático y pobreza: una exploración de los vínculos*. Nota Informativa del IIED. International Institute for Environment and Development (IIED). Recuperado en <https://www.researchgate.net/publication/242470127>

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). Pp. 151-179. Recuperado en <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-83582010000300005>

Rosatto, H., Botta, G., Tolón, A., Tardito, H. & Leveratto, M. (2016). Problemáticas del cambio climático en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires - aportes de las cubiertas vegetadas en la regulación térmica. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, 48 (1), 197-209. ISSN: 0370-4661. Recuperado en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382846012004>

Salas, M. & Herrera, L. (2017). *La vegetación como sistema de control para las islas de calor urbano en Ciudad Juárez, Chihuahua*. Revista Hábitat Sustentable, Vol. 7, N°. 1. ISSN 0719 – 0700. Pp. 14-23. Recuperado en <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2737/2310>

- Sánchez, L., Carvalho, C. & Jordán, R. (2013). *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina*. CEPAL – Colección Documentos de proyectos. Capítulo III: El papel de las áreas urbanas en la mitigación de los gases de efecto invernadero. Recuperado en [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36622/1/S2013813\\_es.pdf](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36622/1/S2013813_es.pdf)
- Sarricolea, P., Aliste, E. & Escobedo, C. (2008). *Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos*. Revista de Climatología. Vol. 8. ISSN 1578-8768. Pp. 71-84. Recuperado en <https://www.researchgate.net/publication/26576059>
- Sarricolea, P. & Romero, H. (2010). *Análisis de los factores condicionantes sobre las temperaturas de emisión superficial en el área metropolitana de Valparaíso, Chile*. Arquitectura, Ciudad y Entorno (ACE). Pp. 79-96. Recuperado en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/117841>
- Strauss, B. H., Kulp, S. & Levermann, A. (2015). *Mapping Choices: Carbon, Climate, and Rising Seas, Our Global Legacy*. Climate Central Research Report. Pp. 1-38. Recuperado en <http://sealevel.climatecentral.org/uploads/research/Global-Mapping-Choices-Report.pdf>
- Tumini, I. (2012). *El microclima urbano en los espacios abiertos. Estudio de casos en Madrid*. Tesis para optar al grado de Doctor Arquitecto-Ingeniero. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado en [http://oa.upm.es/14893/1/IRINA\\_TUMINI.pdf](http://oa.upm.es/14893/1/IRINA_TUMINI.pdf)
- Vásquez, A. (2016). *Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile*. Revista de Geografía Norte Grande, (63). Pp. 63-86. Recuperado en <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022016000100005>
- Venter, Z., Hjertager Krog, N. & Barton, D. (2019). *Linking green infrastructure to urban heat and human health risk mitigation in Oslo, Norway*. Science of the Total Environment. Volume 709, (2020), 136193. Recuperado en <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136193>
- Zölch, T., Maderspachera, J., Wamslerb, C. & Pauleitc, S. (2016). *Using green infrastructure for urban climate-proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale*. Urban Forestry & Urban Greening (2016). Vol. 20, Pp. 305-316. Recuperado en <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.09.011>

# **CAPÍTULO VIII ANEXO**

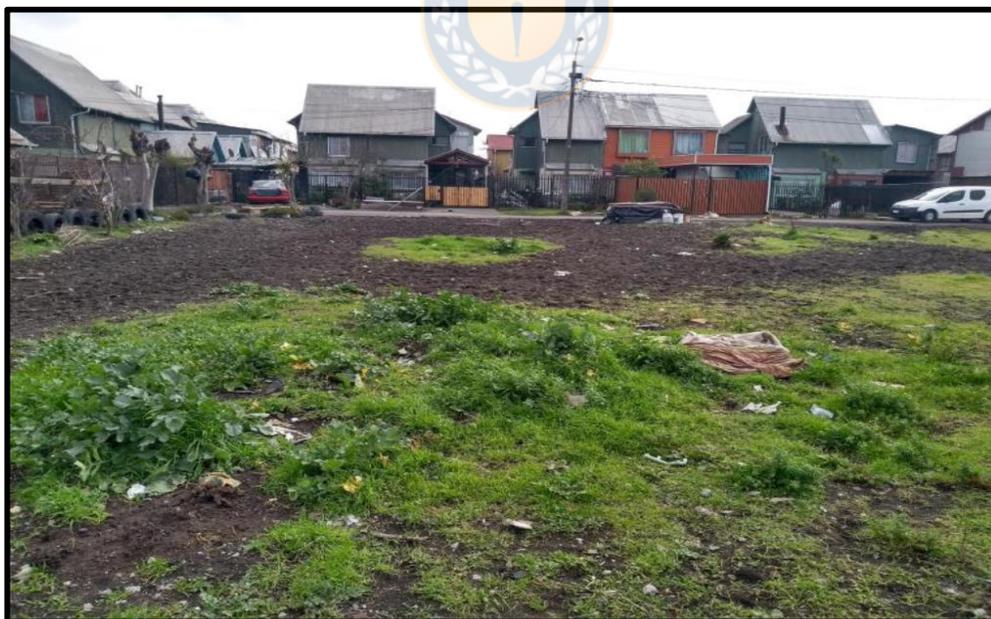


**FIGURA 34: Pasaje del barrio.**



Fuente: CEDEUS

**FIGURA 35: Área de vegetación degradada.**



Fuente: CEDEUS

**FIGURA 36: Áreas verdes del barrio.**



Fuente:CEDEUS.