



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y GEOGRAFÍA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA

**Rol de la vegetación de jardines en las temperaturas interiores y
exteriores de viviendas en la comuna de Puente Alto.**

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓGRAFO

Por: CRISTOPHER PAUL GUERRA ARIAS
Profesor guía: DR. FRANCISCO JAVIER DE LA BARRERA
MELGAREJO

Enero 2024.

Concepción, Chile

Agradecimientos

Agradezco al profesor Dr. Francisco de la Barrera, profesor guía de esta tesis, quién me invitó a explorar áreas de investigación, técnicas y metodologías que alimentaron mi capacidad de asombro. Agradecer además su paciencia y apoyo, ya sea en el trabajo de terreno, en los consejos y orientaciones otorgadas a distancia para desarrollar de la mejor forma este trabajo, e incluso desde antes de desarrollarlo, cuando depositó su confianza en mis capacidades integrándome como ayudante de sus asignaturas, que sin duda me aportaron grandes enseñanzas y valores. Agradecer además al CEDEUS por facilitar herramientas de registro, análisis de datos e instancias de conocimiento colectivo.

A mis maestros Carlos Vivallos, Vanessa Novoa, Ramón Ahumada y Leticia Astudillo, a quienes les debo parte importante de mi formación profesional y valórica adquirida en el camino del pregrado, ya que todos los días que estuve bajo su tutela obtuve notables ejemplos de cómo un buen alumno, un buen profesional y un buen maestro debe actuar en el día a día, ya sea en las aulas (y más importante) fuera de ellas. Al querido Manuel Rodríguez y a Aldo Villaseca, quienes siempre me entregaron una mano de apoyo en los momentos más difíciles en las aulas, haciendo parecer como que nunca estuve lejos de casa.

A Margarita, Carlos, Jazmine y Ángel, que hicieron muchos esfuerzos para que pudiera cumplir mi sueño, por perdonar mis ausencias en momentos difíciles por la distancia, sin ustedes esto jamás habría sido posible. A Gladys, Angela, David y Moisés, la familia que me adoptó por cinco largos años en su hogar, que me cobijó y contuvo como el integrante más pequeño de su familia, con paciencia y cariño. A Ximena, Paulina y Luis Miguel, amigos invaluable, que convirtieron los años más duros en Concepción en los más dulces, con su compañía, amistad, cariño y apoyo incondicional. A Cintya, que me apoyó de forma silenciosa y llena de amor a finalizar este proceso. A David, por prestarme su tiempo, conocimientos y guiar el camino.

A las vecinas y vecinos de la comuna de Puente Alto que amablemente me abrieron las puertas de sus hogares para obtener los datos utilizados en esta investigación.

Índice de contenido

Agradecimientos	1
Índice de contenido.....	2
Índice de imágenes.....	3
Índice de gráficos.....	3
Índice de tablas.....	4
Índice de cartografías	5
Resumen	6
Abstract	7
1 Introducción	8
1.1 Planteamiento del problema	9
1.2 Pregunta de investigación.....	11
1.3 Objetivos de la investigación	11
2 Marco Teórico.....	12
2.1.1 ¿Qué es la Isla de Calor Urbana?	12
2.1.2 ¿Qué produce las Islas de Calor Urbanas?	12
2.1.3 ¿Porque es importante analizar las Islas de Calor Urbanas?	13
2.1.4 Evaluación Geográfica de las Islas de Calor Urbanas	14
2.1.6 Tipos de Islas de Calor Urbanas	18
2.2 Áreas Verdes, microclima urbano y mitigación del fenómeno de Islas de Calor Urbanas.	20
3 Metodología.....	41
3.1 Área de estudio	41
3.2 Características climáticas.....	44
3.3 Contextualización territorial de áreas verdes en la comuna de Puente Alto.....	46
3.4 Barrios seleccionados	48
3.5 Contextualización estructural de Barrios seleccionados	54
3.6 Materiales y Métodos	60
4 Resultados.....	71
4.1 Revisión de la literatura internacional sobre las islas de calor urbanas	71
4.2 Cuantificación experimental de diferencias térmicas interiores y exteriores con presencia y sin presencia de jardines interiores.	77
4.3 Planificación barrial que permite mitigar las islas de calor urbanas y fomentar la influencia de jardines en el interior y exterior de viviendas	82
5 Discusión	92
Revisión de la literatura internacional sobre las islas de calor urbanas	92

Cuantificación experimental de diferencias térmicas interiores y exteriores	93
Planificación barrial que permite mitigar las islas de calor urbanas y fomentar la influencia de jardines en el interior y exterior de viviendas	96
6 Conclusiones	100
7 Bibliografía.....	102

Índice de imágenes

Imagen 1 Tipos de Islas de Calor	20
Imagen 2: Interior área de departamentos CORVI con jardín.....	49
Imagen 3: Interior de área de departamentos CORVI con poco jardín	51
Imagen 4: Área de departamentos MINVU sin jardín	52
Imagen 5: Plantas colectivo 1020, CORVI	54
Imagen 6: Plantas de piso colectivo 1020, CORVI.....	55
Imagen 7: Planimetría de planta de edificios de Departamentos en Población El Refugio	58
Imagen 8: Planimetría representativa de viviendas particulares Villa Las Caletas 1	60
Imagen 9: Dataloggers I-button.....	61
Imagen 10: Ejemplos de clasificación de muestra de pixeles por el analista.....	67
Imagen 11: Resultado de clasificación de uso de suelo por maximum likelihood	67

Índice de gráficos

Gráfico 1: Climograma estación Aeródromo Tobalaba Año 2019.....	44
Gráfico 2: Temperatura registradas por sensores interior en periodo diurno	77
Gráfico 3: Temperaturas registradas por sensores interior en periodo nocturno	78
Gráfico 4: Temperaturas registradas por sensores exteriores en periodo diurno	80
Gráfico 5: Temperaturas registradas por sensores exteriores en período nocturno	81
Gráfico 6: relación de temperatura promedio interior diurna con el porcentaje de áreas verdes.....	89
Gráfico 7: relación de temperatura promedio interior nocturna con el porcentaje de áreas verdes.....	89
Gráfico 8: relación de temperatura promedio exterior diurna con el porcentaje de áreas verdes.....	90
Gráfico 9: relación de temperatura promedio exterior nocturna con el porcentaje de áreas verdes.....	91

Índice de tablas

Tabla 1: Clasificación simplificada, de formas urbanas ordenadas en forma decreciente según capacidad para impactar el clima local.....	26
Tabla 2: Tipos de áreas verdes seleccionadas en catastros	35
Tabla 3: Esquema de clasificación tentativa de casos típicos de intervención verde	35
Tabla 4: Índice de reflectancia solar de revestimientos	37
Tabla 5: Índice de reflectancia solar de tejas/techos	37
Tabla 6: Índice de conductividad de materiales aislantes minerales, sintéticos y animales.	37
Tabla 7: Índice de conductividad de materiales aislantes vegetales.....	38
Tabla 8: Densidad y capacidad calórica volumétrica de materiales de fachada e interiores	39
Tabla 9: Densidad y capacidad calórica volumétrica de materiales aislantes.....	39
Tabla 10: Difusividad térmica de materiales aislantes.....	39
Tabla 11: Difusividad térmica de materiales de fachada y estructural	40
Tabla 12: Difusividad térmica de otros materiales.....	40
Tabla 13: Línea base climática y proyecciones climáticas de la comuna de Puente Alto .	45
Tabla 14: Descripción de variables usadas en caracterización climática.....	45
Tabla 15: Detalle de materiales utilizados en la construcción de edificios CORVI.....	55
Tabla 16: Detalle de materiales utilizados en la construcción de edificios de apartamentos, Población El Refugio.....	57
Tabla 17: Materiales utilizados en la construcción de viviendas particulares en la Villa Las Caletas 1	58
Tabla 18: Nomenclatura de sensores utilizados en la recolección de datos.....	62
Tabla 19: Registro de hora de temperaturas máximas y mínimas durante los días de registro de temperaturas.....	68
Tabla 20: revisión de literatura internacional sobre las islas de calor urbanas	71
Tabla 21: Aporte de las áreas verdes en el control del microclima urbano.....	74
Tabla 22: Cantidad de áreas verdes que logran mitigar las Islas de Calor Urbanas.....	76

Índice de cartografías

Cartografía 1: área de estudio, límite comunal de Puente Alto.....	42
Cartografía 2: Distribución de barrios seleccionados en la comuna de Puente Alto	43
Cartografía 3: Tipos de áreas verdes presentes en la comuna de Puente Alto según clasificación OCUC	47
Cartografía 4: Departamentos CORVI con jardín	49
Cartografía 5: Departamentos CORVI con poco jardín	50
Cartografía 6: Departamentos MINVU sin jardín	52
Cartografía 7: Área de viviendas residenciales con jardín y sin jardín.....	53
Cartografía 8: Distribución de puntos de instalación de sensores 2,3,4,14 y 15.....	63
Cartografía 9: Distribución de puntos de instalación de sensores 5,6,7,16,17,18 y 19	64
Cartografía 10: Distribución de instalación de sensores 8,9,10,11,12 y 13	65
Cartografía 11: Distribución de puntos de instalación de sensores 20,21,22,23,23 y 25 ..	66
Cartografía 12: Cuantificación de tipos de suelo en área con presencia de áreas verdes .	86
Cartografía 13: Cuantificación de tipos de suelo en área con poca presencia de áreas verdes.....	87
Cartografía 14: Cuantificación de tipos de suelo en área sin presencia de áreas verdes.	88

Resumen

La comuna de Puente Alto es la capital provincial de la Provincia Cordillera, que forma parte de la Región Metropolitana de Santiago. Desde los años 90 esta comuna transitó a ser una zona urbana de gran densidad demográfica, transformándose en la comuna más poblada del país, concentrando 171.511 viviendas en una superficie de 88 km², exponiéndola al desarrollo de islas urbanas de calor, fenómeno que puede ser mitigado por la presencia de áreas verdes. Sin embargo, en la comuna de Puente Alto se registran 1.613 áreas verdes que representan una superficie total de 1.837.303 m², es decir, 3,23 m² por habitante (muy por debajo de lo que indica la OMS 9m²/ habitante).

Mediante la instalación de sensores de temperatura i-button que registran valores al interior y exterior de tres tipos de viviendas (con jardín, con poco jardín y sin jardín), y mediante análisis de box plot de las series de temperaturas, se cuantificó que las áreas verdes son capaces de reducir en 4,4° las temperaturas interiores de viviendas con jardín (temperaturas un 13,2% más bajas) respecto de aquellas que poseen poco jardín, reducción que puede alcanzar los 5,4° (temperaturas un 15,8% más bajas) respecto del interior de viviendas sin jardín durante el período diurno.

A través de la cuantificación (en m²) de los diferentes tipos de suelo en los 3 tipos de viviendas (con jardín, con poco jardín y sin jardín), se identificó que en el área de viviendas con jardín la extensión de esta área verde es de 9.436 m² y registra reducciones de 4,7° en las temperaturas exteriores en relación con las áreas con poco jardín (3.370 m² de áreas verdes) y reducciones de 3,7° en las temperaturas exteriores con relación a las áreas sin jardín (195 m² de áreas verdes).

Esto plantea la necesidad de una planificación barrial que integre zonas urbanas (que usen materiales y técnicas que no creen islas de calor urbanas) y áreas verdes con características de extensión y proximidad que permitan reducir las altas temperaturas, y por ende servir a reducir futuros riesgos a la salud humana en futuros contextos de olas de calor.

Palabras clave: Isla de calor urbana, áreas verdes, mitigación de altas temperaturas, salud, planificación barrial, Puente Alto.

Abstract

The Puente Alto commune is the provincial capital of the Cordillera Province, which is part of the Santiago Metropolitan Region. Since the 1990s, this commune shifted into an urban zone with high demographic density becoming the most populated commune in the country. The commune concentrates 171,511 housing in an area of 88 km² exposing it to the development of urban heat islands, a phenomenon that can be mitigated by the presence of green areas. However, there are 1,613 green areas registered in Puente Alto which represent a total area of 1,873,303 m² per inhabitant, well below the WHO 9 m²/inhabitant.

By installing i-button temperature sensors that record values inside and outside three housing types, with a garden, little garden, and without a garden, and through box plot analysis of temperature series, it was quantified that the green areas can reduce by 4.4° the interior temperature of houses with a garden, 13.2% lower temperatures. In contrast to those with little garden, a reduction that can reach 5.4°, 15.8% lower temperatures, compared to the inside of houses without a garden during the daytime period.

By quantifying the different soil types in m² of the three housing types, it was identified that in houses with a garden the extension of green areas is of 9,436 m² and registers a reduction of 4.7° in the outside temperatures. Compared to the areas with little garden, 3,370 m² of green areas, and a reduction of 3.7° in the outside temperatures in relation to the areas without a garden, 195 m² of green areas.

The above-mentioned suggests the necessity of neighborhood planning that integrates urban areas, which use materials and techniques that do not create urban heat areas. Furthermore, green areas with extension and proximity characteristics that allow to reduce the high temperatures and therefore, reduce future risks to human health in future heat wave contexts.

Keywords: Urban heat island, green areas, high temperature mitigation, health, neighborhood planning, Puente Alto.

1 Introducción

La población urbana ya ha superado a la población rural (Banco Mundial, 2018), expresándose principalmente en el crecimiento de las grandes urbes y en la concentración de población en estas mismas, sin embargo, en muchos casos se hacen invisibles los distintos fenómenos que se desarrollan dentro del contexto urbano.

La isla de calor urbana es uno de estos fenómenos que pasa inadvertido dentro del cotidiano de una ciudad y este conlleva la manifestación de procesos físicos como la reflexión de radiación solar en las superficies, la conductividad térmica de los materiales de construcción y la influencia de estos mismos en la temperatura y circulación de los vientos. Estos procesos inciden y determinan el microclima local exponiendo a su población a fenómenos extremos como las olas de calor, que bajo ciertos contextos de prolongación son capaces de incidir fuertemente en la salud de la población y en su calidad de vida debido a que se manifiestan aumentando la temperatura del ambiente por sobre los niveles normales en zonas de menor rugosidad o densidad de construcciones.

Esto hace relevante el estudio de infraestructuras o áreas que son capaces de mitigar la vulnerabilidad de la población ante este tipo de fenómenos extremos, sobre todo considerando si las viviendas carecen de planificación estructural destinada a moderar estas condiciones, así como también el avance institucional en políticas climáticas que se orienten en desarrollo sostenible.

Las áreas verdes dependiendo de sus tipologías, configuración, localización y tamaño surgen como una respuesta ante estos escenarios que exponen a la población a través de sus servicios ecosistémicos, que si son desarrollados en contextos de planificación territorial permiten incidir en el balance energético y el microclima urbano, reflejando lo anterior en la regulación de la temperatura intradomiciliaria de viviendas que posean infraestructuras verdes como los jardines interiores, acercando el confort térmico a la población y en paralelo la sustentabilidad de la urbe.

1.1 Planteamiento del problema

Debido a los efectos del cambio climático antropogénico y la transformación del paisaje construido, las temperaturas máximas promedio tienden a ser más extremas verano tras verano, alcanzando valores más altos cada temporada. Considerando el desarrollo de extensas series temporales, se puede considerar que la temperatura superficial de la tierra en promedio se ha incrementado en unos 0,8 °C durante el siglo XX, el cual es un valor considerado en el límite inferior de los valores esperados teniendo en cuenta los registros de la emisión de CO₂ prerrevolución industrial y los registros de cambios de este CO₂ (Garreaud, 2011).

Lo anterior plantea a la población un gran desafío si se quiere mantener su estilo de vida y sus actividades en condiciones ambientales que no son óptimas para el desarrollo de éstas, presentándose como fuerte punto de interés entre actores que diseñan monitorean e implementan políticas climáticas y de desarrollo como la "Comunidad del Clima" y la "Comunidad del Desarrollo" logrando converger en el diseño de iniciativas multisectoriales como la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y la Adopción del Acuerdo de Paris (Filippi, 2016).

Lo anterior genera la necesidad de acceder a la tecnología y a la planificación de un mejor diseño energético en los espacios donde se desenvuelven o habitan las personas, con tal de mitigar los efectos de esta tendencia, más aún considerando que uno de los sectores económicos que más contribuye al cambio climático es el de la construcción de edificios y viviendas, considerando principalmente el consumo de energía en la construcción y uso de estas infraestructuras, la emisión de contaminantes y el consumo de energía en la fabricación de los materiales utilizados en esta actividad (Arcas-Abella et al., 2011). La proyección que cuantifica los gases de efecto invernadero que la industria de la edificación aporta a la atmosfera se estima mediante emisiones directas y la suma de emisiones provenientes del uso de electricidad, logrando un valor que alcanza las 14,3 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente al año 2030, escenario que en el año 2004 fue estimado en 8,6 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente (Barker et al., 2007).

Estos espacios, donde se desarrollan las personas y sus actividades, poseen diferencias en su construcción, planificación y desarrollo, generando dicotomía en el acceso a las condiciones que la vivienda y la infraestructura es capaz de ofrecer a la población. En el caso latinoamericano la población se enfrenta al aumento de la temperatura diaria, eventos hidrológicos extremos, cambio en los patrones de precipitación, viviendas con baja capacidad de controlar en confort térmico y al aumento del CO₂ proveniente del consumo de recursos naturales, todas derivadas de la influencia directa del fenómeno del cambio climático, reduciendo la calidad de vida de sus habitantes sobre todo los de bajos ingresos que acceden a la vivienda social (Cubillos, 2017).

A lo anterior se suman los desafíos en la planificación de la eficiencia energética de edificios y viviendas sociales que son las principales infraestructuras que albergan la población mayoritaria. La eficiencia de estos edificios y viviendas se puede lograr mediante la aplicación de estrategias de diseño y construcción, que contemplen resultados positivos independientes de la variable estacional, las que se deben adaptar en base a las características de sus materiales y como estos son capaces de alcanzar un buen comportamiento térmico durante todo el año, permitiendo reducir el consumo energético y en paralelo reducir la vulnerabilidad de la población a estos nuevos escenarios del cambio climático (Bustamante et al., 2009).

Desde este punto de vista de vulnerabilidad, se puede plantear revertir los escenarios desde la sensibilidad, exposición y capacidad adaptativa de la población, si dentro de las técnicas de planificación, se plantean los efectos positivos de ciertos tipos de infraestructura. Los espacios verdes son capaces de proporcionar múltiples servicios ecosistémicos como reducir emisiones de CO₂, mitigar inundaciones, reducir la temperatura y además proporcionar y restaurar diversidad, siempre que estos espacios sean potenciados mediante el impulso de Planes Maestros de Infraestructura Verde en áreas metropolitanas y ciudades (Muñoz et al., 2019).

La literatura muestra que los árboles pueden reducir hasta en 1 °C la temperatura del aire mediante la sombra que proyectan en días calurosos y que dependiendo de la densidad de estos y como fluye el aire a través de estos, pueden generar

influencias de enfriamiento del aire a 1 km de distancia del límite del parque (Kruize et al., 2019). El tamaño del parque o área verde es positivamente proporcional en la estimación del efecto de refrigeración del aire, maximizando los efectos sobre la temperatura del aire mientras más extensa sea la dimensión del parque (Rakhshanderoo, et al., 2017). Además, existe una diferencia en la captación de carbono entre distintos tipos de áreas verdes, mientras las áreas con poca intervención humana secuestran carbono en su misma vegetación sobre el suelo, los espacios verdes en áreas urbanizadas secuestran más carbono en los suelos (Nero, et al., 2017).

1.2 Pregunta de investigación

¿Qué efecto tienen las áreas verdes sobre las temperaturas máximas exteriores e intradomiciliarias de edificios de departamentos y viviendas particulares en la comuna de Puente Alto?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Caracterizar la influencia de la proximidad, y cantidad de áreas verdes residenciales, en las temperaturas exteriores e interiores de viviendas de tipo departamentos y casas en la comuna de Puente Alto, Región Metropolitana.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Revisión de la literatura internacional sobre las islas de calor urbanas, el aporte de las áreas verdes en el control del microclima urbano, y la cantidad de áreas verdes que logran mitigar las Islas de Calor Urbanas.
- Cuantificar experimentalmente las diferencias térmicas dentro y fuera de viviendas con y sin presencia de áreas verdes residenciales.
- Proponer elementos de planificación barrial para mitigar las islas de calor urbanas y fomentar la influencia de jardines residenciales en el interior y exterior de viviendas

2 Marco Teórico

2.1.1 ¿Qué es la Isla de Calor Urbana?

La isla de calor urbana es un fenómeno que se presenta en muchas ciudades a nivel mundial, en las cuales se desarrollan temperaturas más calientes en áreas urbanas que en las zonas rurales de estas mismas ciudades (Gartland, 2008) y se encuentra directamente ligado a la influencia que las ciudades ejercen sobre las causas del fenómeno de las Islas de Calor Urbanas, entre las que se puede mencionar: incremento de la absorción de la radiación de onda corta, incremento de radiación de onda larga desde el cielo, descenso en la pérdida de radiación de onda larga, fuentes de calor antropogénico, aumento del almacenamiento de calor sensible, descenso de la evapotranspiración y el descenso de la turbulencia total del aire capaz de transportar el calor (Oke, 1987).

Esto surge primero con la elaboración del concepto Isla de Calor Urbana (UHI), por Mandey, el cual acuñó este término estudiando la relación entre la Isla de Calor Urbana y la ocurrencia de días de nieve en Londres.

2.1.2 ¿Qué produce las Islas de Calor Urbanas?

El fenómeno de las islas de calor no es ajeno a los efectos de los grandes procesos de urbanización, por esto desde que comenzó el estudio de este fenómeno en la década de los años 50, se han desarrollado diferentes técnicas para evaluar los parámetros de este fenómeno urbano. La Urbanización incide en los cambios de flujos de energía asociados directamente a los cambios de uso del suelo que las ciudades ejercen y que facilitan la absorción de energía solar, aumento de calor sensible, captación de calor, reducción de la evapotranspiración y el aumento del calor asociado a actividades humanas procedente desde los espacios construidos y vehículos motorizados (Wong et al., 2021). Si bien la Isla de Calor Urbana se liga directamente a un fenómeno de temperaturas Tony Chandler complementó a Mandev -a través de un estudio sobre el clima de Londres- y logró acotar que en paralelo a la ocurrencia de una isla de calor se desarrolla una zona de escasa humedad (Sarricolea, 2012).

2.1.3 ¿Porque es importante analizar las Islas de Calor Urbanas?

El aumento de la temperatura producto del fenómeno de las islas urbanas de calor es capaz de alcanzar variaciones entre 0,4°C a 11 °C en ciudades y regiones de Asia y Australia (Santamouris, 2015). Con rangos de aumento de temperaturas a estos niveles, es posible evidenciar episodios de ocurrencia de desarrollo de altas temperaturas máximas en el interior de departamentos residenciales en zonas de bajos ingresos, los cuales si superan los 30 °C reiterativamente constituyen un impacto significativo negativo en la salud humana (Sakka et al., 2012).

El impacto negativo en la salud ha llegado incluso a incidir directamente en el fallecimiento de 70.000 habitantes de Europa Central y el norte de Europa durante la ola de calor del verano de 2003 (Robine et al., 2007) y alcanzando un total de muertes de aproximadamente 90 personas durante esta misma ola de calor en ciudades como Birmingham (Heaviside et al., 2016).

Considerando que los periodos de extremas de temperaturas máximas es más recurrente en diferentes regiones de los 5 continentes, se hace necesario identificar las áreas vulnerables a la exposición de los factores negativos que las temperaturas pueden desarrollar en la calidad de vida y la salud de los habitantes expuestos a estas, las que incluso pueden traer consecuencias mortales, y son potenciadas por la baja consideración del rol que cumplen los materiales y las técnicas de construcción de viviendas que carecen de adaptación a la eficiencia energética y al cambio climático.

Ejemplo de lo anterior es lo acontecido en Chile desde el año 2000, en donde entra en vigencia la reglamentación térmica de edificios en Chile como una política orientada a mejorar la calidad de vida de la población que reside en viviendas de gestión estatal (para población vulnerable) que poseen una deficiente aislación térmica, atribuible principalmente a la albañilería de ladrillo cerámico y de hormigón escasamente adaptado y estudiado tecnológicamente para sus requerimientos térmicos (Bustamante et al., 2005), dejando en exposición y vulnerabilidad a la población residente ante los fenómenos de temperaturas extremas.

2.1.4 Evaluación Geográfica de las Islas de Calor Urbanas

A partir de los primeros antecedentes de las UHI, comenzó la visibilización de su relevancia y el desarrollo de métodos y técnicas capaces de evaluar de mejores maneras el comportamiento de este fenómeno, que al igual que muchas disciplinas científicas, ha ido de la mano con el desarrollo de la tecnología al desarrollo de esta.

Hasta la década de los 90, las investigaciones se centraban en una metodología de estudio, en base a los datos de catastro de temperatura de diferentes estaciones meteorológicas, las que debían contener una serie de datos capaz de reflejar tendencias más allá de la escala anual y con la garantía de que estuviesen ubicadas en ambos extremos de la investigación, es decir, zonas urbanizadas y zonas no urbanizadas. Una investigación de la ciudad de Kuwait contó con series de datos de 3 estaciones, representativas de áreas urbanas, semiurbanas y no urbanas, las cuales contaban con datos de 23 años comunes, lo que permitió analizar las medias máximas y mínimas de temperatura anual y mensual y las diferencias de cada estación, atribuyendo a estos valores la influencia de la urbanización a las mismas tasas de diferencia (Nasrallah et al., 1990).

Las desventajas de los métodos observacionales se centran en poder aumentar los números de estaciones que sean capaces de sostener los instrumentos capaces de tomar datos dentro de una ciudad, lo que de todas formas resulta en poder analizar una limitada cantidad de datos generalmente a bajas alturas, con dificultades a la hora de emparentar los resultados con fechas similares y una gran demanda del tiempo utilizada en filtrar los datos erróneos. Por otra parte, asoman los métodos de sensoramiento remoto, los que captan información mediante la toma de imágenes satelitales de gran resolución espacial pero baja frecuencia temporal, las que son de alto costo monetario, solo muestran algunos tipos de superficie urbana por sus problemas de escala, los que se ajustan solo a la isla de calor urbana de la capa límite y que además carecen de riqueza de datos cuando estas imágenes se toman en días con presencia de nubosidad, ya que esta obstaculiza el registro de temperaturas de la superficie terrestre (Parsaee et al, 2019).

Sin perjuicio de lo anterior, el método más popular para estudiar la isla de calor urbana, es el del sensoramiento remoto, que es utilizado desde el año 1972, cuando mediante la utilización de estas se contrastó la información de las islas de calor y el índice de diferencia de vegetación normalizado (NDVI), aprovechando los avances paralelos realizados en las áreas de la climatología y la agricultura, que sostenía la importancia de las diferencias de temperatura del aire según las escalas de altura. Estos trabajos, se desarrollaron por investigadores como Thom, Garratt y Raupach, en la década de los 80, presentándose como antecedentes importantes en la importancia de la diferencia de escala vertical y escala espacial, a la hora de plantear este tipo de investigaciones (Arnfield, 2003).

Durante los años 90, la extracción de la información satelital contenida en las bandas termales de los sensores , avanzó a la caracterización local de estos fenómenos, permitiendo tratar áreas más pequeñas y a nivel del suelo, acercándose a los análisis de Isla de Calor Superficial, logrando llegar a esta escala al igual que en las técnicas de catastro por estaciones, pero con la diferencia de contar con información más representativa en zonas de baja densidad de estaciones, lo que permite contrastar con diversas áreas ajenas a la realidad urbana, que poseen extensiones de gran tamaño (Zhou et al, 2018).

Desde esa irrupción de las bandas termales hasta hoy, los sensores remotos han desarrollado su tecnología y con ello su resolución, permitiendo caracterizar la superficie terrestre en unidades cada vez menores, y con la característica de poder obtener información nocturna tanto de temperatura, como de humedad relativa del aire, gracias a las bandas infrarrojas que se suman a las demás integradas en sensores como Sentinel 3. En el caso del estudio realizado en 71 aglomeraciones urbanas durante el 2019 con el sensor Sentinel 3, se evaluaron las temperaturas de superficie en sus temperaturas máximas y medias en contraste con un índice de evaluación ecológica de estas 71 zonas (Sobrino & Irakulis, 2020).

En cuanto a los análisis a escalas menores, a nivel de unidades territoriales comunales, barriales o ligadas a las relaciones entre las áreas urbanas y áreas verdes, se utilizan tanto los métodos observacionales como los de sensoramiento

remoto, innovando en estos últimos mediante la utilización de instrumentos de menor tamaño y con la posibilidad de ser transportados dentro del área a estudiar. Ejemplo de esto, es la estación meteorológica móvil utilizada en el área de la plaza Messolongiou en el centro de Atenas (Gaitani et al., 2011), la cual permitió la toma de datos en las calles del área y dentro de la misma plaza, las que se modelaron en SIG.

Es importante señalar, que el desarrollo de la información proveniente de sensoramientos remotos o métodos observacionales, va fuertemente ligada a softwares de modelación estadística y Sistemas de Información Geográficos, los que permiten representar territorialmente los resultados, dentro de los que destacan ArcGis y ENVI-MET. La relación de esta modelación y sistemas estadísticos, se desarrolla a través de módulos de interpolación algorítmica, como por ejemplo krigging, ponderación de distancia inversa (IDW) y Spline, ya sea regular o con tensión, las que permiten vincular variables matemáticas en representaciones graficas basadas en métodos geoestadísticos (Szymanowski & Kryza 2009). A través de la utilización de información proveniente de imágenes satelitales LANDSAT 7 y LANDSAT 8, información técnica municipal, datos meteorológicos de estaciones situadas en escuelas, modelos digitales de elevación y la información de la cobertura de usos de suelo de Hiroshima, aplicadas en ArcGis 10,6 permitieron obtener resultados en 4 secciones: modelos de temperatura del aire, modelos de temperatura del aire por hora, indicadores que facultan la Isla de Calor Urbana basados en la cobertura del suelo y la evaluación del confort térmico en la ciudad de Hiroshima (Mutani et al, 2019).

También se utilizan las herramientas de modelación matemática que integran los SIG dentro de su lenguaje de programación Python, el cual permite integrar ecuaciones y operaciones matemáticas elaboradas por investigadores con variables georreferenciadas integradas, como es el caso de THIS (Tool for Heat Island Simulation), el que utiliza la ecuación de Oke relacionando variables espaciales como ejes viales, polígonos de edificios, datos de altura de edificios y su radio de influencia, permitiendo identificar las características del cañón urbano los que son

comparados con los datos de temperatura obtenidos en campo (Nakata-Osaki et al., 2018).

Otra forma de integrar los sistemas de información geográfica en el estudio de la Isla de Calor Urbana atmosférica, es utilizando modelos paralelos en softwares de modelación energética y en SIG. Una investigación desarrollada en Bahrein usó en primera instancia información meteorológica, sensores remotos e información de planificación territorial en ArcGis y ENVI para realizar análisis ráster y análisis geoestadístico y espacial de la influencia de la expansión urbana en la Isla de Calor, para luego integrar los resultados obtenidos desde SketchUp un software de dinámica computacional de fluidos (CFD) mediante su aplicación PHOENICS, que permite predecir cuantitativamente como los fluidos como el aire son capaces de fluir a través de los edificios, integrando la influencia del ángulo del sol en la radiación de la superficie urbana construida y en áreas naturales (Radhi et al, 2013).

Lo anteriormente descrito, explica la importancia de las metodologías de evaluación, identificación y análisis de las Islas de Calor Urbanas, debido a que en base a la definición de cual tipo de isla de calor es de interés y los factores geográficos de la unidad territorial analizada, depende el tipo de fuentes de datos, trabajo de campo y softwares utilizados en la metodología aplicada, ya que las Islas de calor urbanas poseen distintas escalas de expansión y por ello una diferencia notoria en la recolección de datos y fuentes que permitan garantizar su descripción y cuantificación. La geografía es capaz de integrar variables cuantitativas y cualitativas que permiten responder al ¿Cuánto?, ¿Cómo? y el ¿Dónde? Se desarrollan las Islas de Calor Urbanas, permitiendo identificar zonas en donde estas se desencadenan o se podrían constituir en el futuro, permitiendo la posibilidad de planificar territorialmente con el objetivo de mitigar los efectos de estas en la población afectada en su escala territorial correspondiente (Barrio, comuna o región) situación que no son capaces de lograr otras disciplinas ni metodologías.

2.1.6 Tipos de Islas de Calor Urbanas

2.1.6.a Isla Urbana de Calor Superficial

La Isla de Calor de superficie es la que se presenta con valores representativos en el suelo, permitiendo realizar cuantificaciones de estos datos a través de sensoramiento remoto y el tratamiento de las bandas termales de las imágenes satelitales y aéreas (Voogt J.A. 2008).

Este fenómeno, se comprende desde toda la estructura tridimensional de la superficie, componiéndose también por todos los elementos que la constituyen, como la trama urbana y las infraestructuras que se desarrollan en ella. Todos los elementos que la componen son altamente vulnerables a las variaciones que la radiación por exposición solar les atribuye, sobre todo a temperaturas cálidas, generando que sus diferencias de temperatura se desarrollen de forma severa durante el día, sobre todo en zonas industriales y comerciales y en áreas con gran porcentaje de presencia de pavimentos, como aeropuertos y enlaces de autopistas. (Roth, 2012).

Este fenómeno se desarrolla cuando superficies secas se encuentran altamente expuestas, a la radiación solar. La magnitud de esta se genera por la intensidad del sol, la que cambia de forma diaria y estacional, lo que tiende a acentuarse más en el verano y especialmente en el periodo diurno. Estas condiciones estacionales se acentúan por el efecto de los cielos despejados, y con menos circulación de vientos (The Energy and Resources Institute, 2017).

2.1.6.b Isla urbana de calor de capa límite

Este fenómeno se desarrolla en el nivel que comienza desde los tejados y copas de los árboles hasta la altura en donde las ciudades ya no impactan en la atmósfera (The Energy and Resources Institute, 2017).

La Isla de Calor de la Capa de Perímetro se presenta sobre la Capa de Dosel, alcanzando extensiones verticales de valores de 1 kilómetro durante el día y de cientos de metros durante la noche, por efectos del descenso de la temperatura en

esta masa de aire. Al igual que la Capa de Dosel, esta puede ser cuantificada a través de sensores y termómetros ubicados en las zonas de interés (Voogt J.A. 2008).

Se posee la información de que este tipo de UHI son capaces de adveccionar masas de aire caliente a grandes alturas verticales y distancias horizontales, por lo que esta representa menor diferencia entre zonas urbanas y rurales en vientos de baja velocidad, y genera capas más uniformes. La influencia nocturna de esta isla de calor se ve fuertemente regulada por la isla de calor de la capa de dosel, por lo que se hace más notoria durante el día, donde ambas poseen relaciones positivas por la exposición solar (Roth, 2012).

2.1.6.c Isla de calor de dosel urbano

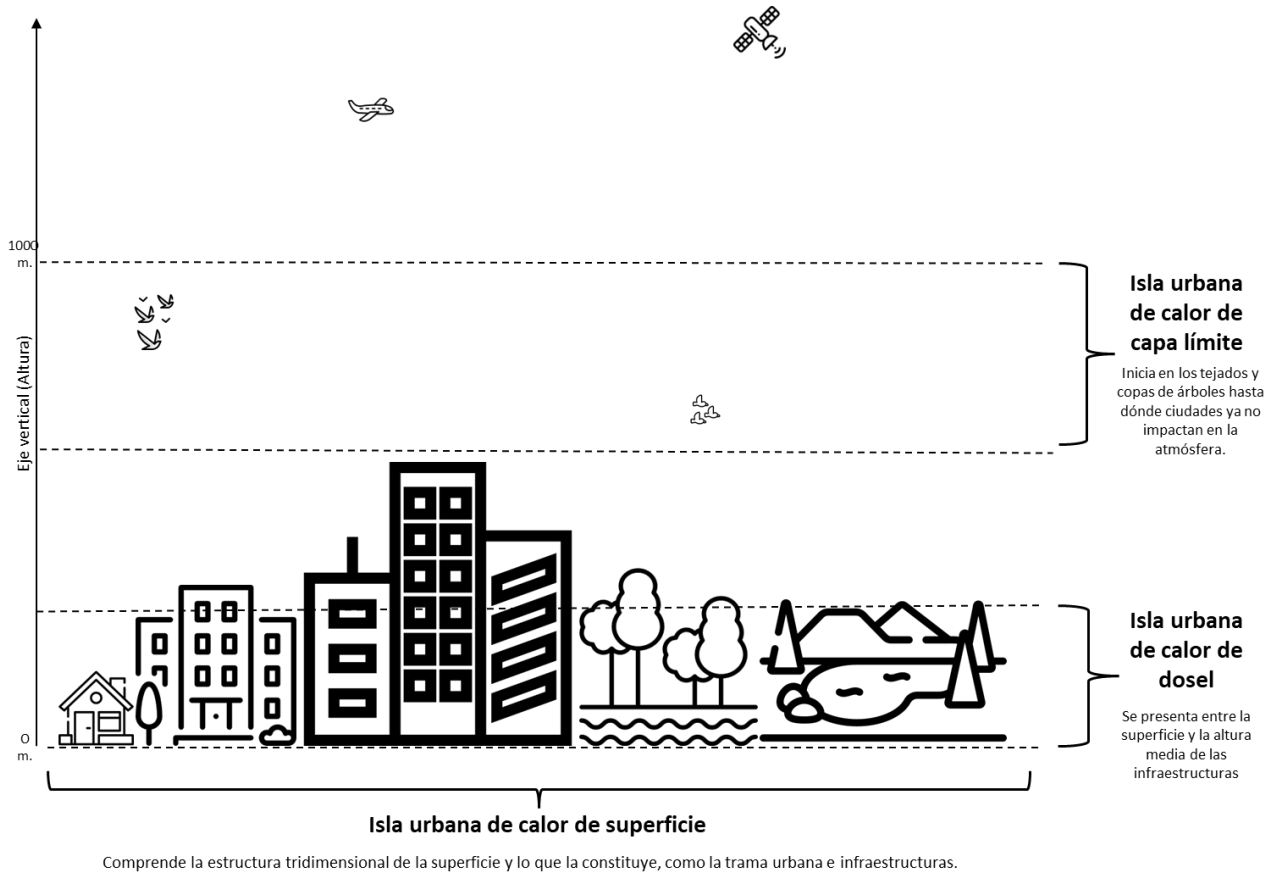
La Isla de Calor de la Capa de Dosel urbana, es aquella masa de aire que se presenta entre la superficie y la altura media de las infraestructuras construidas, permitiendo su medición a través de termómetros ubicados en esta zona específica (Voogt J.A. 2008).

Se centra en percibir la interacción de la energía captada por la infraestructura Urbana y las masas de aire que circulan a través del cañón urbano, generando transferencias de calor entre ambas por efecto del roce y la conducción térmica. Las variaciones temporales y espaciales son significativas en una ciudad, y forman isoterms que toman formas de islas, las que se componen de temperaturas más elevadas a las demás superficies, que se ajustan a ciertas formas y estructuras de la ciudad, concentrando los peaks en los centros urbanos y el descenso de la curva en la periferia, a excepción de las zonas urbanas con presencia de áreas verdes y cuerpos de agua, que también marcan descensos. Debido a ser de carácter local, se hace complejo su estudio debido a la construcción por variables, que hacen que se observen resultados distintos aun en escalas pequeñas de análisis (Roth, 2012).

En este caso, la Isla de Calor de la Capa de Dosel es la que sirve como zona de interés, pues en ella se conjugan las distintas infraestructuras que comúnmente componen las zonas urbanas, es decir espacios construidos dedicados a la

habitabilidad y servicios, además de las distintas infraestructuras verdes, como jardines residenciales, parques y plazas (The Energy and Resources Institute, 2017).

Imagen 1 Tipos de Islas de Calor



Fuente: elaboración propia

2.2 Áreas Verdes, microclima urbano y mitigación del fenómeno de Islas de Calor Urbanas.

Las islas de calor urbanas y los fenómenos físicos que determinan su desarrollo pueden ser atenuadas o mitigadas por las áreas verdes, esto es logrado de forma específica por los variados servicios ecosistémicos que proveen las áreas verdes al igual que otros tipos de infraestructuras que asumen roles y proveen servicios en los territorios urbanos.

Los servicios ecosistémicos, son materia constante de análisis en el mundo científico, debido a su influencia directa en la forma de comprender los cambios de

los ecosistemas y como estos son capaces de contribuir al bienestar humano (Millennium Ecosystem Assessment Board, 2005).

Síntesis de Ecosistemas y bienestar humano considera 4 tipos de servicios ecosistémicos; soporte, regulación, provisión y culturales. Algunos autores, señalan que los servicios ecosistémicos carecen de aptitudes, por la complejidad de separar los servicios de regulación y los de soporte (Camacho & Ruiz, 2011), generando consecuencias negativas a las decisiones tomadas por su ambigüedad.

Pese a las diferencias mencionadas, existe consenso general en cuanto la provisión de servicios desde las áreas verdes, las que entregan 24 servicios. Los servicios de regulación participan en fenómenos y procesos naturales, que pueden evolucionar en riesgos naturales, como el caso de las olas de calor (Barron, 2015), y las áreas verdes aportan con 3 servicios que los mitigan; A) la regulación del clima, b) regulación de la calidad del aire y c) la regulación del agua (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

2.3.1 Áreas verdes y la regulación de la temperatura

Las áreas verdes, tienen la capacidad de participar en la regulación de la temperatura debido a su capacidad de impactar en los fenómenos físicos determinantes para el microclima local, mediante la alteración del balance energético de la radiación solar o radiación neta, donde reduce la radiación difusa o directa que llega a la superficie terrestre en radiación de onda corta y radiación de onda larga entrante (Ochoa de la Torre, 1999).

En el caso del calor antropogénico, las áreas verdes poseen la capacidad de reducir y captar gases contaminantes presentes en la atmosfera que pueden ser considerados fuentes de calor asociadas al factor humano. En el caso de la ciudad de Beijing (área metropolitana densamente poblada y con constante ocurrencia de episodios de saturación atmosférica) equipos de investigación, han cuantificado cómo se comportan las zonas de alta densidad arbórea dentro de la ciudad, en la

captación de carbono, donde el material PM10 es el principal contaminante del aire. La zona de estudio, con gran cantidad de especies arbóreas, fue capaz de secuestrar 224.000 toneladas de carbono en biomasa, con un peak durante el mes de abril, que coincide con la primavera en el hemisferio norte. (Yang et al, 2005).

La vegetación participa en la mitigación del mecanismo de transferencia de calor de salida de convección, formando parte de la rugosidad y por lo tanto de la fricción superficial que determina el flujo del viento cerca de la superficie de la tierra. Las áreas verdes al ser superficies rugosas contribuyen a la formación de turbulencia mecánica en el aire y disminuye las turbulencias térmicas reduciendo la velocidad del viento, dosificando el paso del flujo de aire (Bustamante Oleart, 2015) e incide en la humedad del aire, transformándolo en un agente activo en la configuración del confort térmico de los espacios exteriores (Ochoa de la Torre, 1999).

También las áreas verdes participan en la reducción de la temperatura ambiente y el aumento en la humedad del aire por el efecto de sombra proyectada sobre las diversas superficies, el fenómeno de la evapotranspiración (que es el efecto de enfriamiento evaporativo del agua que transpiran las plantas) y la contención de humedad en el suelo. Sin embargo, el efecto de un árbol aislado no es significativo, ya que desaparece rápidamente debido a los movimientos del aire (ya sea por viento o convección), pero cuando se trata de un microclima aislado de los sistemas atmosféricos predominantes, entonces si es posible apreciar los efectos de la vegetación. Un ejemplo serían los grandes parques en áreas densamente urbanizadas, rodeados de edificios altos en todos sus costados, o bien los patios interiores de manzana y de los edificios (Ochoa de la Torre, 1999). En condiciones de verano los beneficios térmicos de la cubierta con vegetación - comparado con otros materiales-, proporcionan sombra y enfriamiento evaporativo, que están relacionados con la evapotranspiración, desde las hojas de la planta y desde el suelo (Grujic, 2011).

Las áreas verdes mitigan directamente las condiciones del fenómeno de calor almacenado, a través de su influencia directa en la conductividad, capacidad calórica y la difusividad térmica de los materiales expuestos a la radiación solar. Si

en un escenario se considera un árbol real expuesto a radiación solar, este reducirá aún más el almacenamiento de calor y, por lo tanto, mejorará el aumento de la temperatura del aire, mediante el uso de energía para convertir el agua en vapor durante la transpiración (es decir aumentando el flujo de calor latente). Lo anterior ilustra que la capacidad de un árbol para reflejar la radiación solar y la sombra afectan a la radiación solar y la capacidad de transpiración de un árbol afecta el flujo de calor latente ya que transpirar afecta al calor latente y en paralelo al almacenamiento de calor y la temperatura del aire (Smithers et al, 2018).

El efecto positivo en la contribución a esta regulación está altamente determinado por las dimensiones de la extensión espacial del área verde, y como estas inciden en las temperaturas registradas, ya que su distribución y extensión territorial incide en este tipo de análisis (Aram et al, 2019), y además de los hábitos de regadío y cuidado de esta, las especies que la componen, su densidad y organización, y de cómo el entorno de esta esté configurado (Salas & Herrera, 2017).

Para el caso de los parques urbanos de gran tamaño, se registran valores de 1.9 °C más bajos en un parque de 147 hectáreas en Nagoya, en relación con otras áreas de la ciudad (Hamada & Ohta, 2010), mientras que, en los jardines de Kensington en Londres, las reducciones de temperatura en verano pueden ir desde los 1,1 °C y 4 °C, en un parque de 111 hectáreas de extensión (Doick et al., 2014).

En el caso intermedio de los parques de mediano tamaño, otro estudio en Londres analizó los resultados clasificando según la extensión de cada parque. Los parques de extensión de 0,5 a 2 hectáreas registran descensos de 0,3 °C, aquellos con extensión de 3 a 5 hectáreas, registran un descenso de 0,7 °C, mientras que los que poseen mayor extensión, de más de 12 hectáreas pueden disminuir en 1°C la temperatura en áreas cercanas a estas áreas verdes (Vaz Monteiro *et al*, 2016).

En el caso de los parques de pequeñas extensiones, un estudio realizado en la ciudad de Seúl, analizó los registros en parques de similares características, pero con distintas extensiones. El parque de 300 m², fue capaz de reducir en 1°C la temperatura, mientras que su par de 650 m² hizo lo propio en un valor de 2°C de reducción en la temperatura (Park et al., 2017). Otro estudio realizado en Ciudad

Juárez, en un área verde de 0,78 hectáreas y una cobertura de 6,9 m² por árbol, es capaz de disminuir la temperatura en 3,82 °C, en relación con las zonas no vegetadas de esta área verde (Salas & Herrera, 2017).

Lo anterior muestra que las áreas verdes urbanas, son capaces de impactar en la regulación de la temperatura, con diferentes resultados y alcances que dependen fundamentalmente de su tamaño, estructura y densidad, aporte valioso para contrastar las proyecciones del cambio climático en zonas Mediterráneas como la Región Metropolitana, donde se espera que las temperaturas máximas y mínimas aumentarán y por el contrario, las precipitaciones disminuirán considerablemente (Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, 2006). Esto nos indica, que si bien podemos identificar que la infraestructura verde es capaz de mitigar el calor a través de sus aportes en descender temperaturas urbanas reduciendo la reflexión de radiación solar, provisión de sombra, enfriando por evapotranspiración y regulando la temperatura del viento, la infraestructura verde y su influencia depende de cuanto porcentaje de suelo urbano está cubierta por estas y como estas infraestructuras están distribuidas en las ciudades, sin esa consideración los parques urbanos, las áreas arbóreas, techos verdes y sistemas de jardines verticales no alcanzan su máximo potencial como elementos de mitigación de altas temperaturas (De la Barrera & Reyes – Paecke, 2021).

2.3.2 Impacto de las áreas verdes en el microclima urbano

Parte importante de los fenómenos que se desarrollan en el medio ambiente, están fuertemente ligados a la población, y como esta hace uso de los territorios, ya sea desarrollando actividades de diversos tipos o asentándose en ellos. Considerando que, durante el siglo XX las áreas rurales y urbanas compartían las concentraciones de población en partes equitativas, es importante visibilizar las nuevas dinámicas generadas por la nueva concentración de la población durante estas primeras décadas del siglo XXI, donde el 55% de la población mundial se asienta en las áreas urbanas, aglomerando 4.274 millones de personas en ciudades de diversas características, formas y regiones (Banco Mundial, 2019)

Lo anterior plantea un desafío ambiental importante, debido a que esta tendencia mundial, ha sido sostenida al alero de la construcción de megaciudades y ciudades, que mediante la rápida expansión urbana han debido satisfacer la necesidad de suelo, estructuras que permitan acceder a servicios y una calidad de vida que se ven limitadas por los alcances de la planificación. Como resultado, la mezcla de áreas habitacionales y de otros tipos con diferentes formas y densidades de infraestructuras construidas, las cuales afectan el confort térmico (Johansson & Yahia, 2015). Este tipo de crecimiento urbano ha generado cambios importantes en el equilibrio entre la radiación y el espacio urbano, donde el intercambio de calor entre el suelo, los edificios y el aire caliente que fluye entre ellos, genera diferencias importantes entre la temperatura rural y la urbana, generando el fenómeno de la Isla de Calor Urbana (Gaitani, *et al*, 2011).

Investigaciones han desarrollado la idea de clasificar los tipos de zonas climáticas locales (Oke, 2004) , describiendo primero las escalas verticales y horizontales de interés en las zonas urbanas y luego describiendo las zonas climáticas urbanas, tomando como parámetros la rugosidad, relación de aspecto y el porcentaje de impermeabilidad, permitiendo diferenciar dentro de las propias zonas urbanas distintas zonas climáticas locales, dependiendo fundamentalmente de la densidad y características estructurales de los edificios y construcciones asentadas en los territorios. Esta clasificación, es un gran antecedente para reconocer las diferencias entre las zonas urbanas, además de permitir aproximar de forma más representativa los diferentes y posibles impactos de la estructura urbana en la construcción de microclimas urbanos.

Tabla 1: Clasificación simplificada, de formas urbanas ordenadas en forma decreciente según capacidad para impactar el clima local

Zona Climática Urbana	Clase de Rugosidad	Radio de Aspecto	% Permeabilidad
Urbano intensamente desarrollado con rascacielos separado de gran altura edificios con revestimiento, p. torres del centro	8	>2	>90
Alta densidad desarrollada intensamente urbano de 2 a 5 plantas, adjunto o edificios muy cercanos a menudo de ladrillo o piedra, p. núcleo de la ciudad vieja	7	1.0-2.5	>85
Muy desarrollado, medio densidad urbana con fila o casas unifamiliares pero cercanas, tiendas y apartamentos, p. urbano alojamiento	7	0.5-1.5	70-85
Altamente desarrollado, bajo o urbano de densidad media con gran edificios bajos y estacionamiento pavimentado, p.ej. centro comercial, almacenes	5	0.05-0.2	70-95
Desarrollo medio, bajo densidad suburbana con 1 o 2 casas de pisos, p. suburbano alojamiento	6	0.2-0.6	35-65
Uso mixto con grandes edificios en paisaje abierto, p. instituciones como hospital, universidad, aeropuerto	5	0.1-0.5	>40
Desarrollo semi-rural, casas dispersas en natural o área agrícola, p. granjas, fincas	4	>0.05	>10

Fuente: Tim R. Oke (2004).

Uno de los factores del microclima urbano, es la composición de territorios construidos con características que facilitan las islas de calor, como los edificios de baja, mediana y gran altura, los materiales con los que se construyen sus exteriores, los que almacenan y conducen gran cantidad de calor al recibir insolación directa (Sarricolea & Romero, 2010) y el desbalance de la aglomeración de estas estructuras versus zonas que permitan un equilibrio y descongestión de las zonas construidas, como por ejemplo las áreas verdes (Ignatius et al, 2015).

Esta misma congestión de estructuras construidas, modifica la circulación de los vientos en las zonas urbanas, los que por efecto de la densidad, alteran sus velocidades y direcciones de circulación, y generan que estos por efectos de la conducción de la energía almacenada en materiales de construcción urbanos insolados, adquieran temperaturas más altas de los valores normales, debido a que se exponen al contacto de zonas de menor humedad, y a superficies que se retardan en disminuir sus temperaturas después de finalizar la exposición solar,

como por ejemplo las calles y fachadas exteriores (Cordero, 2014). Las diferencias de la velocidad de los vientos entre zonas rurales y urbanas, pueden llegar a alcanzar diferencias significativas, considerando la altura de medición de estas velocidades, donde por ejemplo a 100 metros de altura, la velocidad del aire en la periferia de Valparaíso puede alcanzar los 118 km/h y en el centro de la ciudad, a la misma altura, alcanza los 96 km/h (Carrasco, 2008), mientras que en la ciudad de Atenas, a una altura de 1,5 metros, la velocidad del viento alcanza velocidades de 1,5 m/s y 2,2 m/s en las calles, lo que representan 54 km/h y 79,2 km/h respectivamente (Gaitani et al, 2011).

Otro factor relevante en la construcción del microclima urbano es el factor de vista de cielo, el cual está fuertemente ligado a la altura de las construcciones con relación a las avenidas y calles de la trama urbana. Estudios sugieren que en la medida de que la capacidad de observar el cielo aumenta, la temperatura posee más variaciones durante el día (Gál, Lindberg y Unger, 2008), mientras que, si pasa lo contrario, las variaciones de la temperatura son menores y facilitan la ocurrencia de temperaturas más altas (Ali-Toudert & Mayer, 2006). Lo anterior es debido al cambio de las condiciones de la reflexión de la radiación solar, la cual es encapsulada por edificios de gran altura, al interponerse en la trayectoria de estos tras el reflejo post impacto en las superficies.

Un rasgo de las ciudades es que el área urbana se calienta mucho más rápido durante el día que las zonas no urbanas generando una diferencia de presión atmosférica, donde la zona de presión es baja sobre la ciudad y las zonas de presión alta están sobre las áreas no urbanas colindantes. Esto provoca un movimiento del viento con temperaturas distintas a las de las áreas de origen interviniendo con un rol térmico positivo y negativo. Si las grandes masas de aire externas a las ciudades no se desarrollan propician condiciones ideales para que los vientos de baja densidad (presentes en el interior de las ciudades) busquen áreas donde equilibrar la presión atmosférica moviéndose a la periferia, donde la baja urbanización permite acceder a mayor humedad y menor temperatura, nivelando los vientos urbanos

cálidos y recirculándolos más frescos por la trama urbana (Bustamante Oleart, 2015).

Las áreas verdes de grandes extensiones poseen la capacidad de replicar en menor escala el efecto de nivelación de calor y humedad de las zonas no urbanizadas, ejemplo de ello es Santiago, donde es posible afirmar que las áreas cubiertas de vegetación disminuyen hasta en 1,5°C la temperatura atmosférica en una tarde de verano, incluso alcanzando diferencias de 4°C entre los parques de escala metropolitana y sus áreas urbanas adyacentes (Smith & Romero, 2016). Otro ejemplo es el acontecido en la comuna de San Pedro de la Paz, dónde modelaciones de temperaturas en verano relacionadas a simulaciones de porcentajes de cobertura de suelo con vegetación indican que si un barrio presentara un 90% de cobertura de vegetación el 20,48% de los píxeles (que representan superficie del barrio identificados mediante envimet) poseería temperaturas en el rango de los 22°C. – 22,5°C. , es decir, temperaturas un 9,6% más bajas en relación a la máxima temperatura de modelación que señala rangos desde los 19,9°C. y los 24,9°C (Jara & de la Barrera, 2021).

Por estos factores, se hace relevante poder identificar las estructuras y dinámicas urbanas que facilitan las diferencias en el microclima y hacen factible el fenómeno de las islas de calor, puesto que estas impactan en la calidad de vida de la población, que, ante la necesidad de minimizar los impactos, consume más recursos e imposibilita la capacidad de desarrollar ciudades sostenibles.

2.3.3 Áreas verdes en el territorio urbano

Las áreas verdes son una infraestructura que es común en la configuración urbana, desarrollando dentro de este mismo, distintos roles, usos, formas y tipos, además de distintas localizaciones y tamaños, las cuales se ven influenciadas por el contexto urbano, diseño arquitectónico y la planificación urbana.

A nivel nacional, estas poseen como marco conceptual y definición oficial, lo estipulado en el Decreto N^o 47 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, el cual en su artículo 1.1.2. sostiene que un área verde es una superficie de terreno destinada

referentemente al esparcimiento o circulación peatonal, conformada generalmente por especies vegetales y otros elementos complementarios (OGUC, 2020). Estas superficies o áreas poseen diferentes tipos de índices, como por ejemplo el de metros cuadrados de área verde por habitante, la cual posee diferentes valores de aceptabilidad en instituciones como la Organización Mundial de la Salud o la Organización de Naciones Unidas. En el caso de la OMS, el valor recomendado mínimo de metro cuadrado de área verde por habitante es de 9 m²/hab, sin considerar las características de su accesibilidad ni organización en la planificación urbana, marco normativo estándar utilizado en Chile, para la cuantificación y consideración de la existencia de áreas verdes por habitante (Reyes & Figueroa, 2010).

En el caso de la situación urbana chilena, es difícil unificar una conceptualización que permita identificar qué tipo de suelo representa o no representa un área verde, debido a los problemas de estandarización del marco normativo local, regional o nacional, donde las áreas verdes -como concepto de planificación territorial- se definen como un espacio donde no se realicen actividades residenciales, industriales o comerciales y en que exista vegetación, dando espacio a que zonas como recintos deportivos, clubes de golf, estadios, cementerios, universidades, escuelas, quebradas y bordes de autopistas urbanas sean reconocidos al mismo nivel de un parque, plaza, bandejón o rotonda siendo integrados al cálculo de área verde por habitante. Aun así, los valores alcanzados en Chile están muy debajo de los 9 m²/hab. graficando claramente el déficit (De la Barrera, 2014).

Desde la perspectiva territorial, las áreas verdes pueden servir como una trama que es capaz de conectar territorios y también como un protector de estos. Dependiendo de la amplitud de su escala, es capaz de conectar distintas unidades territoriales, por ejemplo, poblaciones si es de una dimensión menor, barrios o comunas vecinas, en el caso de que sean de escalas supramunicipales, e incluso, ser capaces de conectar muchas comunas a la vez en la escala metropolitana (Ramos, 2005). Un buen ejemplo de esto es el Área Metropolitana de Santiago, que compatibiliza las distintas escalas de áreas verdes, desde las que se sitúan en barrios, zonas

intercomunales o grandes extensiones metropolitanas donde existen fluctuaciones dentro de la región que van desde comunas que tienen 11,7 m²/hab. como es el caso de la comuna de Lo Barnechea, a 2,3 m²/hab. en el caso de la comuna de El Bosque, que a pesar de su baja accesibilidad, tiene barrios que cuentan con buena dotación (Equipo Centro de Políticas Públicas UC, 2019).

Desde la perspectiva urbanística, las áreas verdes son capaces de influir en las dinámicas del desarrollo inmobiliario y la configuración de espacios poblados por contribuir al cambio del precio del suelo en función de la proximidad que estos suelos poseen con relación a áreas verdes urbanas y generar situaciones de fuerte desigualdad como acontece en el área metropolitana de Santiago, donde se desarrollan fuertes diferencias en la accesibilidad, tamaño y distribución de áreas verdes que se grafican correlacionando información socioeconómica, exponiendo una conexión directa de los hogares de mayores ingresos con un mayor tamaño y acceso a áreas verdes, mientras que en los hogares de ingresos bajos disminuye notablemente el acceso y el tamaño de las áreas verdes (Reyes & Figueroa, 2010). Además, las áreas verdes son parte importante de la configuración urbana como un sistema integrado, permitiendo interconectar y relacionar distintas áreas de la ciudad (accesibilidad) y que la población las utilice a libre disposición de actividades (continuidad) entregándoles un carácter integrador y multifuncional (Ramos, 2005).

Desde la perspectiva ambiental -en paralelo al aporte en el microclima-también se asocia a las áreas verdes como importantes contribuyentes en las condiciones atmosféricas de una ciudad, donde existe constante interés en cuantificar los niveles de contaminantes. En la ciudad de Beijing los episodios de saturación atmosférica son comunes y equipos de investigación, han cuantificado el aporte de las zonas de alta densidad arbórea en la captación de carbono, donde estas fueron capaces de secuestrar 224.000 toneladas de carbono PM10 en biomasa, con un peak durante abril (Yang et al., 2005). En paralelo las áreas verdes aportan a controlar los contaminantes que se depositan en los suelos urbanos, y que son transportados por las aguas que circulan por las ciudades y no son absorbidas por la

impermeabilización de los suelos. En el caso específico de las aguas lluvias urbanas, la escorrentía posee distintos contaminantes como sedimentos, sustancias con demanda de oxígeno, indicadores biológicos, nutrientes o bioestimulantes, metales pesados, y otras sustancias tóxicas, donde se ha comprobado, que en E.E.U.U estos contaminantes representan más del 80% de los problemas de contaminación en acuíferos y que son provocados por escorrentías urbanas (Ugarte, 2011).

Por lo anterior, se han desarrollado diversos mecanismos de sistemas urbanos de drenaje sostenible que disminuyen la escorrentía, mejoran la calidad del agua, benefician al entorno en calidad ambiental y mejoran el paisaje, ligándose directamente a las áreas verdes por su rol en las cubiertas vegetadas, zonas de bio retención (jardines de lluvia) y franjas filtrantes, ya que estas infraestructuras reducen la escorrentía, contienen sólidos en suspensión y sintetizan metales pesados, y en paralelo infiltran grandes volúmenes de agua transfiriéndola a la atmósfera gracias a la evapotranspiración que también reduce la isla de calor urbana (Trapote & Fernández, 2016).

Desde la perspectiva ligada al desarrollo humano, se puede considerar los aportes directos de las áreas verdes urbanas, al bienestar de las personas, debido a la provisión de servicios ecosistémicos de provisión, soporte, regulación y culturales.

Las áreas verdes son una importante fuente de actividades y posibilidades de utilización de sus espacios para los ciudadanos, los cuales son variados, y pueden ir desde el enfoque ambiental, social o educacional maximizando los beneficios en función de la cercanía que se tenga a estos, permitiendo que los usuarios que accedan a las áreas verdes, posean una balanceada calidad de vida, interacciones con espacios informales de actividades y reuniones que fomentan la sociabilidad y la inclusión, desarrollo estético, y aptitudes positivas en la salud mental y física (Vargas-Hernández, et al, 2017). Una investigación desarrollada en la ciudad Iraní de Yazd, fue capaz de caracterizar las visitas a espacios verdes urbanos, donde de 138 encuestados, el 46 % de las respuestas al motivo de porque visitan el parque Ghadir, fueron “para relajarse” y “para mejorar mentalmente” (Mahdieh, et al., 2010)

entregando valor a la cercanía de la población a áreas verdes urbanas independiente de la interacción causada por las visitas a estos, ya que con el hecho de poseer una vista hacia un área verde urbana ya se puede evidenciar la influencia de este en las personas, logrando que incluso se reduzcan las visitas a estas revalorizando el factor de la cercanía y la accesibilidad (Bertram & Rehdanz, 2014).

Considerando que los episodios de olas de calor extremas son más frecuentes, es importante considerar a las áreas verdes como zonas que poseen influencia directa en una temática de salud pública diferente a la anteriormente mencionada que se refiere al riesgo de padecer hipertermia o golpe de calor, los que provocaron 14.947 muertes en Francia durante la ola de calor del 4 y el 18 de agosto del 2003 (Poumadère et al., 2005) y fueron la principal causa de 40.019 hospitalizaciones desde 1991 y el 2006, periodo en donde se desarrollaron 400 olas de calor que equivalen a 1308 días de olas de calor (Liss & Naumanova, 2019). En ambos territorios, los investigadores aluden a múltiples factores de ocurrencia de estos problemas de salud, dentro de los que destacan la edad, género, enfermedades preexistentes, medicación, residencia urbana, aislamiento, contaminación atmosférica, vulnerabilidad socioeconómica (calidad de construcciones) y la región climática, donde de estos factores las áreas verdes están directamente relacionadas a cuatro de los factores de ocurrencia mencionados.

Por lo anterior las áreas verdes son zonas de relevancia en la urbe, ya que están inmersas de forma natural y planificada dentro de esta, y dependiendo de sus tipologías se derivan sus roles, localización y extensión, y por lo tanto también la capacidad y alcance de sus influencias dentro de los territorios urbanos.

2.3.4 Tipologías de áreas verdes

Como se mencionó anteriormente la influencia que las áreas verdes ejercen en los territorios están supeditadas directamente a los factores de localización, composición y extensión, con especial énfasis en este último, ya que dependiendo de la clasificación del tipo de área verde puede identificarse su influencia en la mitigación.

Es dificultoso en el estudio de las áreas verdes el reconocimiento y diferenciación de sus diferentes tipologías, principalmente porque las unidades que las componen se presentan en distintos tipos de áreas, zonas o suelos, que son parte de los espacios urbanos y o rurales. Generalmente, los marcos normativos e instrumentos de planificación territorial son los que intentan delimitar conceptualmente lo que caracteriza un área verde, y además, tipifica que tipo de área verde representa. Sin embargo, es necesario precisar que existen antecedentes que muestran las dificultades teóricas, prácticas y discursivas a la hora de plantear topologías de áreas verdes, y el caso chileno es bastante representativo de esta realidad.

En el caso chileno los instrumentos normativos presentan diferencias en los organismos que los elaboran y aplican, además de contar con diferencias importantes en su adecuación en la escala territorial. Lo anterior, deriva en que muchos conceptos y las condiciones que caracterizan estos mismos, no sean homogéneos entre sí, resultando en definiciones que intentan representar lo mismo, pero que, en realidad, tanto en su forma como en su fondo, poseen bases y desarrollos conceptuales totalmente distintos (Reyes & De la Barrera, 2019).

Históricamente, en Chile estas tipologías han sido detalladas y delimitadas por los planos reguladores (comunales, regionales y metropolitanos), la política regional de áreas verdes y los catastros de áreas verdes. Los primeros, son desarrollados en primera instancia por las municipalidades, los cuales adecuan sus planes comunales a los desarrollados por el Gobierno Regional y/o el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, -dependiendo de si la comuna se enmarca en un área metropolitana o no-, con la finalidad de regular y orientar la expansión y desarrollo urbano de las áreas pobladas en relación con el espacio público y las áreas de expansión territorial. Por su parte la política regional de áreas verdes es desarrollada por el gobierno regional, luego de que desde el año 2007 se les asignara la responsabilidad directa de la planificación regional, enmarcado en la Estrategia Regional de Desarrollo y de Políticas Públicas Regionales, situación que generó la necesidad de contar con una base que cuantificara las áreas verdes a nivel regional, con la intención de contar con un catastro base que permitiera proyectar políticas y

proyectos relacionados a las áreas verdes (Gobierno Regional Metropolitano de Santiago, 2014). En cuanto a los catastros de áreas verdes, estos han sido desarrollados por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Comisión Nacional de Medio Ambiente y el Gobierno Regional, los que tenían como objetivos, la identificación, medición y clasificación de las áreas verdes, y en paralelo catastrar los usos de suelo de la región (Reyes & De la Barrera, 2019).

En cuanto a antecedentes en la definición de lo que puede ser considerado área verde, la política regional de áreas verdes del gobierno regional metropolitano de Santiago del año 2014, considera que un área verde es una superficie abierta, natural o artificial, de dominio público o privado, donde la vegetación juega un rol importante que genera beneficios sociales, ambientales, económicos y de ordenamiento, y está orientada al uso y goce colectivo bajo protección de los instrumentos de planificación territorial. Las áreas verdes pueden cumplir diversas funciones dependiendo de su localización, tamaño, densidad vegetacional, programa arquitectónico y objetivo para las que fueron planificadas, donde se incluyen las plazas, áreas deportivas, cementerios parque, áreas residuales tratadas, rotondas, enlaces, bandejones, jardines públicos, bordes de río y áreas silvestres protegidas (Gobierno Regional Metropolitano, 2014).

En cuanto a las tipologías no existe una norma general que sea capaz de designar cada variedad de áreas verdes, lo que ha generado que, en el contexto chileno, se construyan propuestas que intentan replicar antecedentes de la planificación territorial europea, y en paralelo, considerar los avances realizados por los instrumentos de planificación territorial, dentro de las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- A) Tipo de áreas verdes seleccionadas en catastros institucionales MINVU 1992, CONAMA 1997 Y MINVU 2004 (Reyes & De la Barrera, 2019)

Tabla 2: Tipos de áreas verdes seleccionadas en catastros

Tipo de Área Verde
Av. Parque
Bandejón
Parque
Plaza
Rotonda

Fuente: Reyes & De La Barrera, 2019.

- b) Esquema de clasificación tentativa de casos típicos de intervención verde. Propuesta donde se sostiene que el estándar básico para considerar un área como verde, es su superficie mínima, la que se complementa con otro tipo de variables (Bastén, 2005).

Tabla 3: Esquema de clasificación tentativa de casos típicos de intervención verde

Ámbito Ecológico	Área o zona tipo	Magnitud territorial	Nivel usuarios	Función ambiental y ecológica	Unidad "verde" Intervenido
Natural	No habitable ⁵⁾ Protegida	Mayor a 50 hás	Mayor a 5 millones	Protección Ecológica	Parques SNASPE
	No habitable No protegida	Mayor a 50 hás	Mayor a 5 millones	Protección Ecológica	En estudio SNASPE
	Habitable Pública	Mayor a 50 hás	Mayor a 5 millones	Protección Ecológica	Espacios abiertos públicos
Transición	Habitable Privada Periurbana Productiva	Mayor a 50 hás Mayor a 20 hás	Mayor a 5 millones 1 a 5 millones hab	Protección Ecológica Cinturón Hortícola	Espacios abiertos privados Huertos obreros La Pintana
	Periurbana Recreacional	Mayor a 20 hás	1 a 5 millones hab	Cinturón Recreacional	Balnearios municipales
	Intraurbana Enclave natural	Mayor a 10 hás	1 a 5 millones hab	Contacto con la naturaleza	Cauce río Cerro isla
	Intraurbana * enclave artificial Intercomunal Gob. Central	Mayor a 10 hás Menor a 10 hás	1 a 5 millones hab 500-1.000.000 hbs.	Parque forestado Valor ecológico Parque urb. multiuso Rec. cult. dep.	Parque forestal P. O'Higgins Jardín zoológico Quinta Normal

Urbano	Intercomunal Asoc. Municip.	5-10 hás	200-500.000 hbs	Parque urb. bicomunal o límitrofe	La Castrina hoy Rep. Brasil
	Intracomunal Municipio	2-10 hás	100.000 hbs	Parque urbano comunal	Balmaceda Bustamante
	Intracomunal Vecinal	1/10 a 2 hás	5.000 hbs	Plaza o plazoleta vecinal	Brasil, Yungay, Panamá, etc.

Fuente: Bastén, 2005.

Esta investigación -según la clasificación tentativa de casos típicos de intervención verde de Gámez- se enmarca en el ámbito ecológico urbano y en específico el área, zona o tipo intercomunal vecinal, ya que esta tipificación se asemeja a las dimensiones de magnitud territorial, su nivel de usuarios y su función ambiental y ecológica, mientras que en el caso de otras clasificaciones de áreas verdes pueden ser consideradas como jardines domésticos -Áreas de terreno normalmente cerradas y asociadas a una persona o a un grupo y reservadas para uso privado- o como instalaciones residenciales -Zonas ajardinadas que proporcionan amenidad visual o que separan diferentes edificios o usos del suelo por razones medioambientales, visuales o de seguridad y que se utilizan para diversas actividades informales o sociales- (Rakhshandehroo & Yusof, 2014).

2.3.5 Características térmicas de materiales utilizados en la construcción de viviendas

De un 100 % de la radiación solar el 51% de esta llega a la superficie de la tierra, el 25% lo hace de forma directa y el otro 26% lo logra como radiación difusa hacia la superficie (Insunza, sin año), por lo tanto, el material utilizado en la construcción de viviendas debe estar adaptado a recibir ese porcentaje de energía sin incidir negativamente en el confort térmico de las viviendas, o en el desarrollo de altas temperaturas al exterior de estas.

Parte de esta energía que ingresa puede ser reflejada por los materiales de construcción (albedo). Estos materiales suelen poseer altos niveles de reflectancia

de energía solar, donde los revestimientos pueden tener fluctuaciones de valores de reflectancia entre 35% - 99%, mientras que en tejas/techos estos fluctúan entre 47% - 90% (Alchapar et al., 2012), transformándolos en elementos claves a la hora de configurar islas de calor.

Tabla 4: Índice de reflectancia solar de revestimientos

Revestimientos Texturados	Cementicio salpicate planchado gris plomo	Cementicio granitex medio ocre	Cementicio granitex medio gris plomo	Acrílico rulato-travertino grueso marfil	Acrílico rulato-travertino grueso piedra gris	Acrílico llaneado fino marfil	Acrílico llaneado grueso piedra gris	Acrílico granitex medio ocre	Acrílico granitex medio gris plomo
Índice de reflectancia solar	40%	57%	80%	99%	94%	55%	61,5%	80,50%	35%

Fuente: Reflectancia solar de las envolventes opacas de la ciudad y su efecto sobre las temperaturas urbanas (Alchapar et al., 2012).

Tabla 5: Índice de reflectancia solar de tejas/techos

Tejas/Techos	Cerámica natural colonial terracota	Cerámica brillante bicocción francesa negra	Cementicia natural colonial terracota	Cementicia mate francesa negra	Cementicia acrílica francesa negra	Cementicia mate colonial negra	Cementicia mate francesa terracota
Índice de reflectancia solar	90%	63,50%	64%	47%	53%	63%	63%

Fuente: Reflectancia solar de las envolventes opacas de la ciudad y su efecto sobre las temperaturas urbanas (Alchapar et al., 2012).

Los índices de reflectancia de los tipos de revestimientos y tejas/techos, señalan que, si las viviendas no son construidas o adaptadas para disminuir su reflectancia solar, incidirán directamente en fomentar el desarrollo de islas de calor urbanas a gran escala y a microescala.

Tabla 6: Índice de conductividad de materiales aislantes minerales, sintéticos y animales.

Tipo de aislante	Minerales				Sintético			Animal
Material Aislante	Lana de roca	Lana de Vidrio	Perlita expandida	Vidrio celular	Poliuretano o Polisocianurat (POR)	Poliestireno expandido (EPS)	Poliestireno extruido (XPS)	Lana de oveja
Índice de conductividad	0,03-0,05	0,03-0,05	0,040-0,060	0,035-0,055	0,019-0,040	0,029-0,053	0,025-0,04	0,035-0,060

Fuente: Materiales y elementos constructivos aislantes e impermeabilizantes (Jové, 2017).

Tabla 7: Índice de conductividad de materiales aislantes vegetales.

Tipo de aislante	Vegetales						
Material Aislante	Algodón	Cáñamo	Celulosa	Corcho	Fibras de Coco	Lino	Virutas de Madera
Índice de conductividad	0,029-0,040	0,037-0,045	0,034-0,069	0,034-0,100	0,043-0,047	0,037-0,047	0,038-0,107

Fuente: Materiales y elementos constructivos aislantes e impermeabilizantes (Jové, 2017).

Los aislantes térmicos son la técnica que los desarrolladores de construcciones utilizan para mitigar la influencia ambiental a la que estas mismas infraestructuras están expuestas por la exposición solar, dentro de los cuales, se puede considerar como más aptos los materiales aislantes sintéticos y vegetales.

Por ello, continuando con la lógica de mitigar los efectos de las islas de calor urbanas al interior de viviendas, se deben considerar los aportes y bajos índices de conductividad de los materiales de construcción, los cuales han avanzado en desarrollar elementos de mejor rendimiento frente a la exposición de altas temperaturas exteriores. Lamentablemente, los materiales aislantes y sus propiedades influyen directamente en la capacidad calórica de las viviendas, la cual suele ser baja.

En el caso de la capacidad calórica, se espera que un material usado en la construcción de una vivienda sea capaz de contener una gran cantidad de energía antes de aumentar su temperatura (en °C o °K), ya que de esto depende su tolerancia a los cambios de temperatura, los que se vuelven sensibles en los interiores de una infraestructura habitable.

Tal como se mencionó en el marco teórico de esta investigación, la capacidad calórica de un material depende directamente de su densidad. Los materiales aislantes poseen generalmente una baja densidad y por tanto son buenos aislantes de calor aprovechando su contenido de aire. Esta misma propiedad les permite a estos materiales no almacenar calor, pero si transportarlo fácilmente por convección, producto de su baja capacidad calórica volumétrica.

Tabla 8: Densidad y capacidad calórica volumétrica de materiales de fachada e interiores

Material	Fachada e interiores							
	Granito	Madera de roble	Ladrillo	Madera de pino	Piedra arenisca	Piedra caliza	Hormigón	Mortero de yeso
Densidad (Kg/m ³)	2645	750	2000	640	2200	2847	2300	1440
Capacidad calórica volumétrica (Kcal/m ³ °C)	502,55	427,5	400	384	374	626,3	368	288

Fuente: medición de la capacidad calórica de los cuerpos y su relación con la inercia térmica (Lira & Guevara, 2017).

Tabla 9: Densidad y capacidad calórica volumétrica de materiales aislantes

Material	Aislantes			
	Tejido de lana	Poliestireno expandido	Poliuretano expandido	Fibra de vidrio
Densidad (Kg/m ³)	111	25	24	15
Capacidad calórica volumétrica (Kcal/m ³ °C)	35,52	10	9,12	2,85

Fuente: Medición de la capacidad calórica de los cuerpos y su relación con la inercia térmica (Lira & Guevara, 2017).

De la mano a los conceptos y sugerencias anteriores para mitigar los efectos de las islas de calor en viviendas, se deben considerar los valores de difusividad térmica de los materiales de construcción, debido a que están ligados directamente a la reflectancia, conductividad y capacidad calórica, donde estas variables suelen ser opuestas en sus características de confort. Por ejemplo, si un material tiene una alta conductividad térmica o una baja capacidad calórica tiene una gran difusividad térmica.

Como se expresó en el marco teórico, esta propiedad se refiere a una estimación de la cantidad de calor que se difunde mediante un material en calentamiento o enfriamiento en una cantidad de tiempo y sus variables son la conductividad térmica, la densidad y el calor específico (Muñoz, 2002)

Tabla 10: Difusividad térmica de materiales aislantes

Material	Aislantes							
	Corcho comprimido	Madera de pino	Madera de construcción	Madera pesada	Lana de vidrio	Poliestireno	Poliuretano	Espuma fenólica
Difusividad Térmica	7,87,E-08	9,19,E-08	1,52,E-07	2,29,E-07	3,13,E-07	4,18,E-07	6,19,E-07	9,05,E-07

Fuente: Selección de materiales en la concepción arquitectónica bioclimática (Gonzalez-Cruz, 2004)

Tabla 11: Difusividad térmica de materiales de fachada y estructural

Fachada y estructural									
Material	Mortero de cemento	Mortero cemento/arena	Yeso	Concreto celular	Tierra muro portante	Ladrillos de arcilla	Vidrio plano	Concreto pesado	Tierra con paja
Difusividad Térmica	7,01,E-08	3,38,E-07	4,05,E-07	4,17,E-07	4,72,E-07	4,91,E-07	5,61,E-07	8,27,E-07	8,33,E-07

Fuente: Selección de materiales en la concepción arquitectónica bioclimática (Gonzalez-Cruz, 2004)

Tabla 12: Difusividad térmica de otros materiales

Otros materiales								
Material	Piedra arenisca	Arcilla	Piedra	Mármol	Granito	Acero	Aluminio	Cobre
Difusividad Térmica	9,13,E-07	9,97,E-07	1,16,E-06	1,40,E-06	1,86,E-06	1,25,E-05	6,38,E-05	1,13,E-04

Fuente: Selección de materiales en la concepción arquitectónica bioclimática (Gonzalez-Cruz, 2004)

Como señala la información de los coeficientes de difusividad térmica de materiales aislantes, fachada – estructural y otros, los materiales aislantes son aquellos que poseen valores menores de difusividad, destacándose el corcho comprimido, la madera de pino y la madera de construcción como los que poseen mejores propiedades de difusividad.

3 Metodología

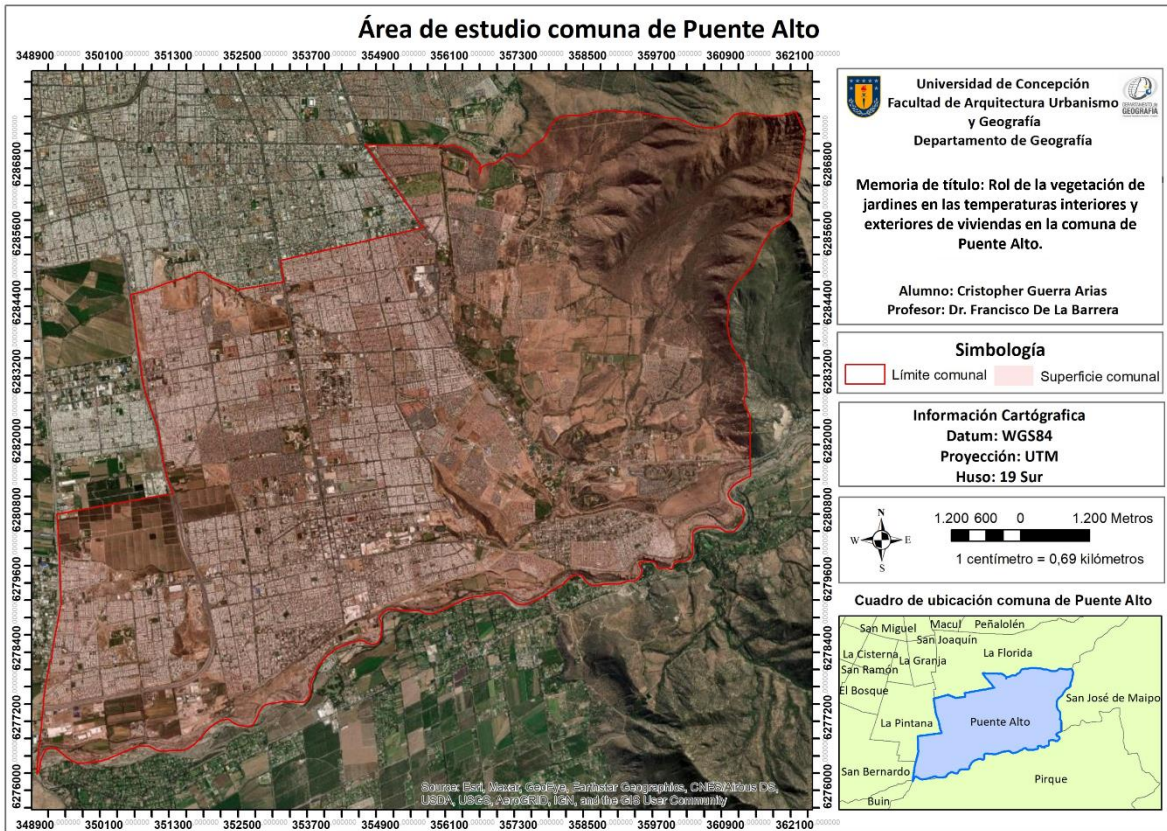
3.1 Área de estudio

Esta investigación se enmarca en la comuna de Puente Alto, unidad que forma parte de la zona sur del área metropolitana de Santiago, en específico en la precordillera sur poniente de la región, limitando por el norte con las comunas de La Florida, por el Oeste con La Pintana y San Bernardo, al este con San José de Maipo y al sur con la rivera del Río Maipo y la comuna de Pirque. La comuna a nivel administrativo es capital de la Provincia Cordillera, concentrando una diversa gama de servicios, zonas comerciales y una gran densidad poblacional, que según el censo 2017 alcanza las 568.106 personas.

En cuanto a la configuración urbana de la comuna, se puede decir que esta es de carácter mono céntrico, con un damero regular, con la característica de estar rodeada tanto en el oeste, este y sur, con zonas que poseen suelos no habitados y precordilleranos, que se caracterizan por su uso agrícola, presentándose como áreas de características distintas a las de otras comunas del área metropolitana, además de contar con la influencia del Valle del Maipo en su límite sur. Del total de toda la superficie comunal (88 km²), el 26 % corresponde a zonas precordilleranas, el 7% a zonas de uso industrial, 14% a faldeos cordilleranos de pendiente moderada urbanizable y 38% corresponde a suelo ya urbanizado (Secretaría de Planificación Comunal Municipalidad de Puente Alto, 2010).

Se selecciona esta comuna como área de estudio de la investigación, gracias a las características demográficas que la transforman en un área representativa de rugosidad urbana en la Región Metropolitana, con una distribución de áreas verdes propias de una comuna urbana, y además, representativa de las comunas cordilleranas de la región. A esto se le agrega la posibilidad de seleccionar áreas de viviendas con características similares a nivel comunal, provenientes de numerosos proyectos habitacionales de programas de vivienda gubernamentales que fueron desarrollados en la comuna.

Cartografía 1: área de estudio, límite comunal de Puente Alto



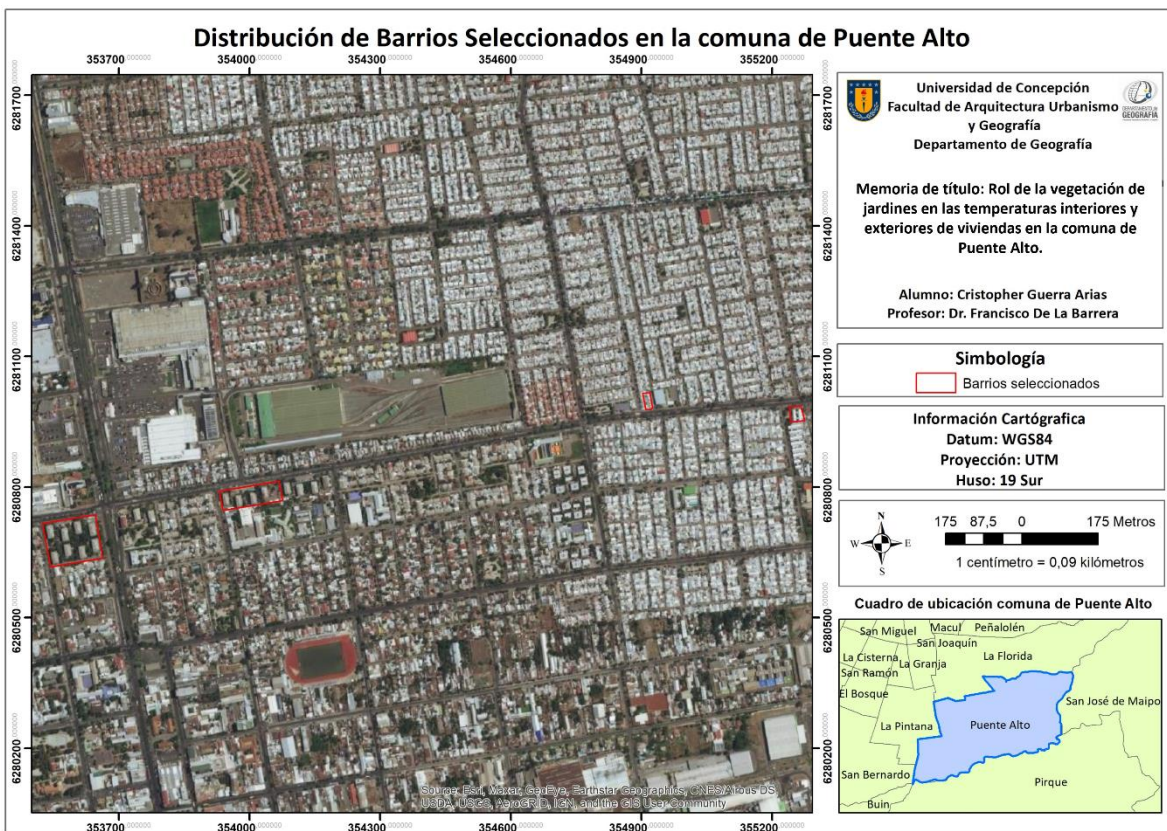
Fuente: elaboración propia

Esta comuna posee una superficie de 88 km², concentrando 171.511 viviendas, dando como resultado ser la comuna más poblada a nivel nacional. Desde lo anterior, se explican las diferentes iniciativas habitacionales dentro de la comuna, la que se considera territorio dormitorio, concentrando 48 villas y la entrega de 32.479 subsidios por el Programa de Vivienda Básica entre el 1984-1997 (Saavedra, 2017) debido a la necesidad de responder a la demanda de infraestructuras capaces de sostener a la población metropolitana y las proyecciones de ella, en función del atractivo del menor precio del suelo de comunas periféricas, que modifican los límites urbanos (Hidalgo, 2007).

Lo anterior, generó una alta heterogeneidad de unidades territoriales y diversidad de tipos de viviendas, que provienen tanto de iniciativas privadas como sociales dentro de la comuna, y con ejemplos insignes como el sector Bajos de Mena, ubicado en la zona sur oeste de la comuna, el que concentró la construcción de 23 mil viviendas sociales entre los años 1990 y 2010, bajo la idea de los condominios

y viviendas sociales (Martínez, 2017) al igual que otros programas de vivienda como los de la CORVI, MINVU y emblemáticos proyectos como los de la Constructora COPEVA que se emplazan en la comuna, permitiendo identificarlos cercanos entre sí e incluso expresando sus diferencias en el acceso a servicios variados e incluso áreas verdes y jardines interiores a pesar de la proximidad aludida, ya que proyectos habitacionales CORVI desde el año 1965 consideran al equipamiento y las áreas verdes como conceptos de espacio público que articulan una vida comunitaria digna (Aguirre & Rabi, 2009) desarrollando características de interés para situarse como área de estudio al ser contrastados con proyectos habitacionales posteriores que carecen de la integración de áreas verdes o jardines domésticos dentro de la misma comuna.

Cartografía 2: Distribución de barrios seleccionados en la comuna de Puente Alto



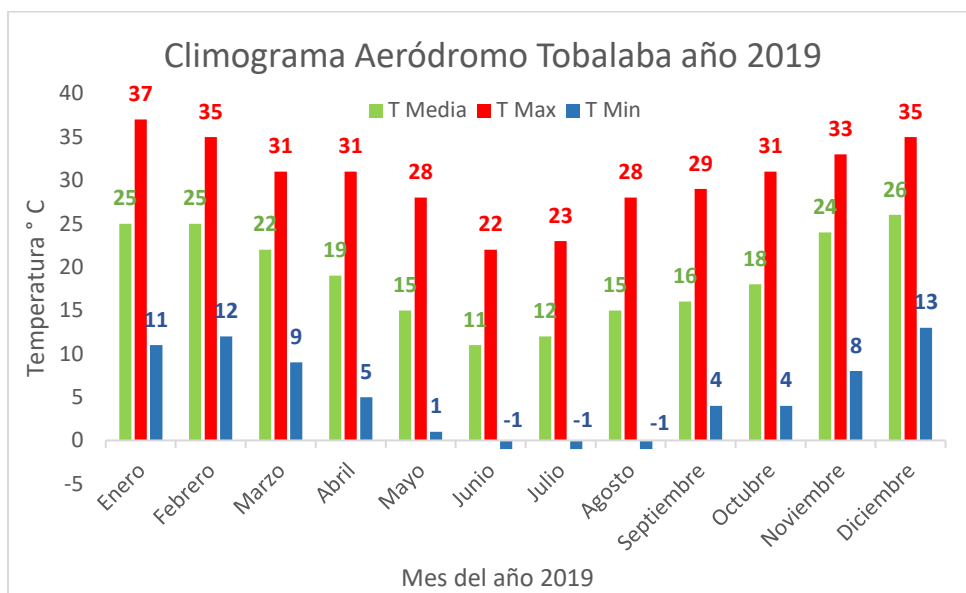
Fuente: elaboración propia

3.2 Características climáticas

En cuanto a la configuración climática de Köppen de la comuna, esta se considera mediterránea, de estación seca larga, debido a sus temperaturas medias máximas estivales de 22 C ° y temperaturas medias mínimas de invierno de 7 C ° y por el desarrollo de un corto invierno lluvioso (Insunza, 2005).

La contextualización de la información de las temperaturas de la comuna es representativa, esto es debido a que la estación oficial más cercana a Puente Alto se ubica en la comuna de la Reina. En este caso, se representan las temperaturas medias, máximas y mínimas mensuales del año 2019 en la estación del Aeródromo Eulogio Sánchez, el cual se ubica en una zona precordillerana al igual que el área de estudio, con la salvedad de que se ubica más al norte de la región.

Gráfico 1: Climograma estación Aeródromo Tobalaba Año 2019



Fuente: Meteored

En base a lo expuesto por Insunza (2005), se puede observar que las temperaturas medias han ido aumentando, ya sea en época estival o invernal, registrando diferencias de 5 grados en verano y 4 grados en invierno, en contexto de mediciones realizadas en el año 2019, lo que puede ser una muestra de las tendencias del cambio climático en la región metropolitana y en el país.

Dentro del contexto de proyectar escenarios futuros, esta comuna se enmarca en la base digital del clima comunal de Chile, el cual pretende caracterizar climáticamente todo el territorio nacional y contempla análisis de línea de base desde el año 1980 hasta el año 2010 y proyecciones climáticas focalizadas a nivel de cerros, cordillera, precordillera y valle central hasta el año 2050.

Tabla 13: Línea base climática y proyecciones climáticas de la comuna de Puente Alto

	Zona de proyección					
	Puente Alto	Cerros	Cordillera	Precordillera	Valle Central	
TXE	29,2	30,5	25,8	30,2	30,5	Línea Base (1980 - 2010)
TNE	11,3	12	9,4	11,8	12	
TXJ	13,4	14,4	10,9	14	14,4	
TNJ	4,1	4,4	3,2	4,4	4,4	
Temed	19,3	20,2	16,7	19,9	20,2	
Timed	8,3	8,9	6,7	8,7	8,9	
PPA	466	419	552	465	428	
PPA Min	431	419	542	406	358	
PPA Max	492	419	559	534	458	
TXE 50	31,6	32,9	28,2	32,6	32,9	
TNE 50	13,4	14,1	11,5	13,9	14,1	
TXJ 50	15,5	16,4	13	16,1	16,4	
TNJ 50	5,7	6	4,9	6	6	
Temed 50	21,4	22,3	18,9	22,1	22,3	
Timed 50	10	10,6	8,5	10,5	10,6	
PPA 50	400	359	477	399	367	
PPA Min 50	370	359	467	348	307	
PPA Max 50	424	359	483	460	393	

Fuente: elaborado en base a Base digital del clima comunal de Chile, 2016.

Tabla 14: Descripción de variables usadas en caracterización climática

Variable	Descripción de Variable
TXE	Temperatura máxima estival (Máxima media del mes más cálido, Enero)
TNE	Temperatura mínima estival (Mínima media del mes más cálido, Enero)
TXJ	Temperatura máxima invernal (Máxima media del mes más frío, Julio)
TNJ	Temperatura mínima invernal (Mínima media del mes más frío, Julio)
Temed	Temperatura media del período estival (Dic - Ene - Feb)
Timed	Temperatura media del período invernal (Jun - Jul - Ago)
PPA	Precipitación normal anual
PPAMIN	Precipitación anual más baja en cada subcomuna
PPAMAX	Precipitación anual más alta en cada subcomuna

Fuente: elaborado en referencia a Base digital del clima comunal de Chile, 2016.

*el sufijo 50 indica que es una proyección de 50 años para esa variable.

Se observa que las proyecciones para la comuna de Puente Alto consideran un aumento en las temperaturas máximas y mínimas en época estival, y también un aumento en las temperaturas máximas y mínimas en época invernal, mientras que, por el lado de las precipitaciones, en su escenario futuro proyectan un descenso en la precipitación normal anual, mínima y máxima, confirmando los escenarios que propone el cambio climático.

3.3 Contextualización territorial de áreas verdes en la comuna de Puente Alto.

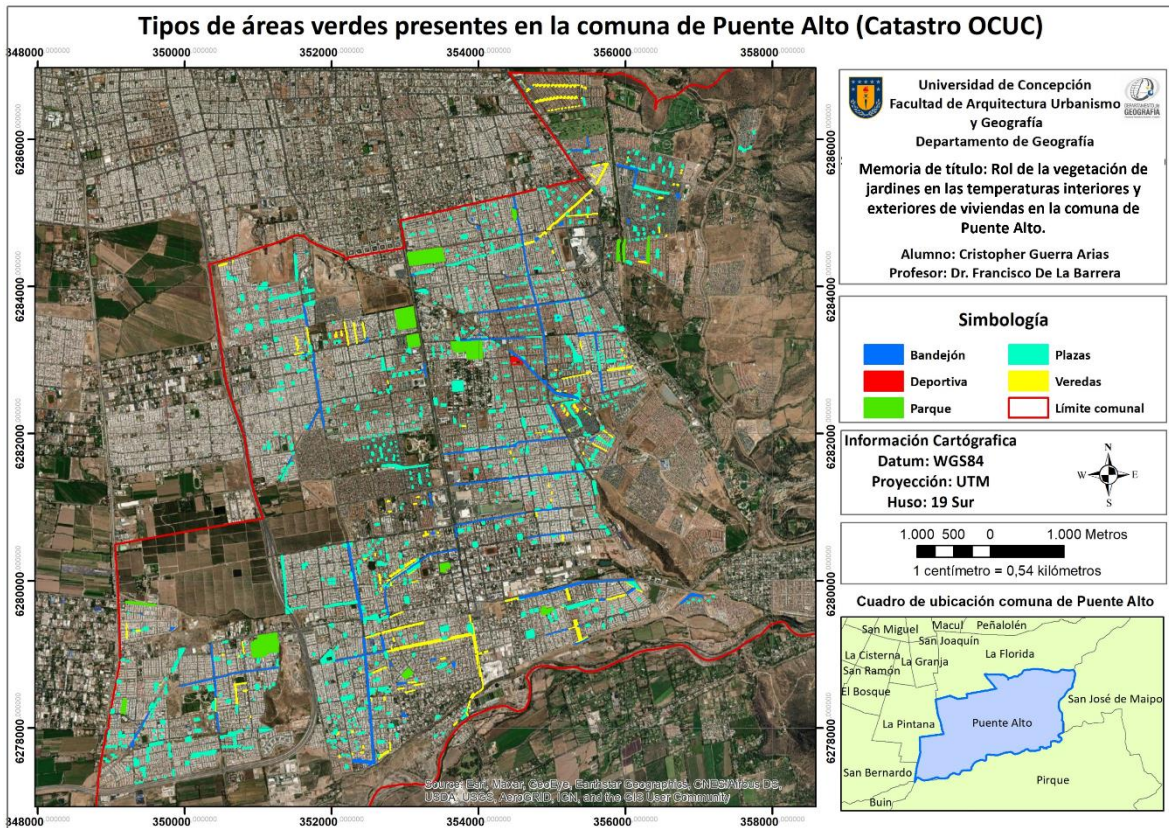
La comuna de Puente Alto forma parte del área metropolitana de Santiago, por lo que puede ser considerada dentro de los indicadores regionales y también en indicadores comunales. Dentro de los indicadores relevantes en esta investigación, se pueden considerar los que cuantifican las áreas verdes dentro del área de estudio, ya que de estos se puede desprender la caracterización territorial e inclusive servir a la comprensión de factores explicativos de ciertos fenómenos, como por ejemplo las extremas de calor.

Desde los indicadores medioambientales, se puede considerar la oferta de áreas verdes por habitantes, el cual alcanza los 3,64 m²/ habitante, número que queda al debe con el estándar mínimo entregado por la OMS, el cual se complementa con indicadores de accesibilidad, donde se puede destacar que solo el 39,50% de la población de la región metropolitana reside a una distancia de 5 minutos de caminata hacia un área verde de 5.000 m², o a 10 minutos de caminata a áreas verdes de 20.000 m² o mayores dimensiones (CEDEUS, indicadores).

Dentro de los distintos intereses en cuanto a las áreas verdes en el territorio, se desarrollan iniciativas que buscan mantener información actualizada sobre catastros del estado de las distintas áreas verdes situadas en los territorios, donde se puede mencionar el trabajo del Observatorio de Ciudades UC, quienes cuentan con una base de datos actualizada del estado actual de las áreas verdes vigentes en la región, en base a información del Ministerio de Vivienda y urbanismo. En esta base se reconocen 11.602 áreas de interés que son consideradas áreas verdes, de las cuales 1.613 se sitúan en la comuna de Puente Alto. El valor total de hectareas de áreas verdes en la comuna es de 183,7 hectáreas, donde 443 son del tipo

vereda, representando el 27,5 % (16, 2 ha), 948 son de tipo Plaza, representando el 58,7 % (103,4 ha), 16 son de tipo Parque, representando el 1 % (42 ha), 2 de tipo Campo Deportivo, representando el 0,1 % (0,6 ha) y 205 son de tipo Bandejón, representando el 12,7 % (21,3 ha).

Cartografía 3: Tipos de áreas verdes presentes en la comuna de Puente Alto según clasificación OCUC



Fuente: Elaboración propia en base a datos OCUC.

Complementando la información anterior se puede agregar que la superficie de áreas verdes en Puente Alto es de 1.837.303 m², con ello se puede hacer el cálculo del indicador de área verde por m² a nivel comunal, y como resultado se puede determinar que la comuna cuenta con 3,23 m²/habitante, mostrando que, en realidad, el acceso a nivel comunal está aún en evidente déficit, incluso por sobre el déficit de la Región Metropolitana de 3, 64 m²/habitante.

3.4 Barrios seleccionados

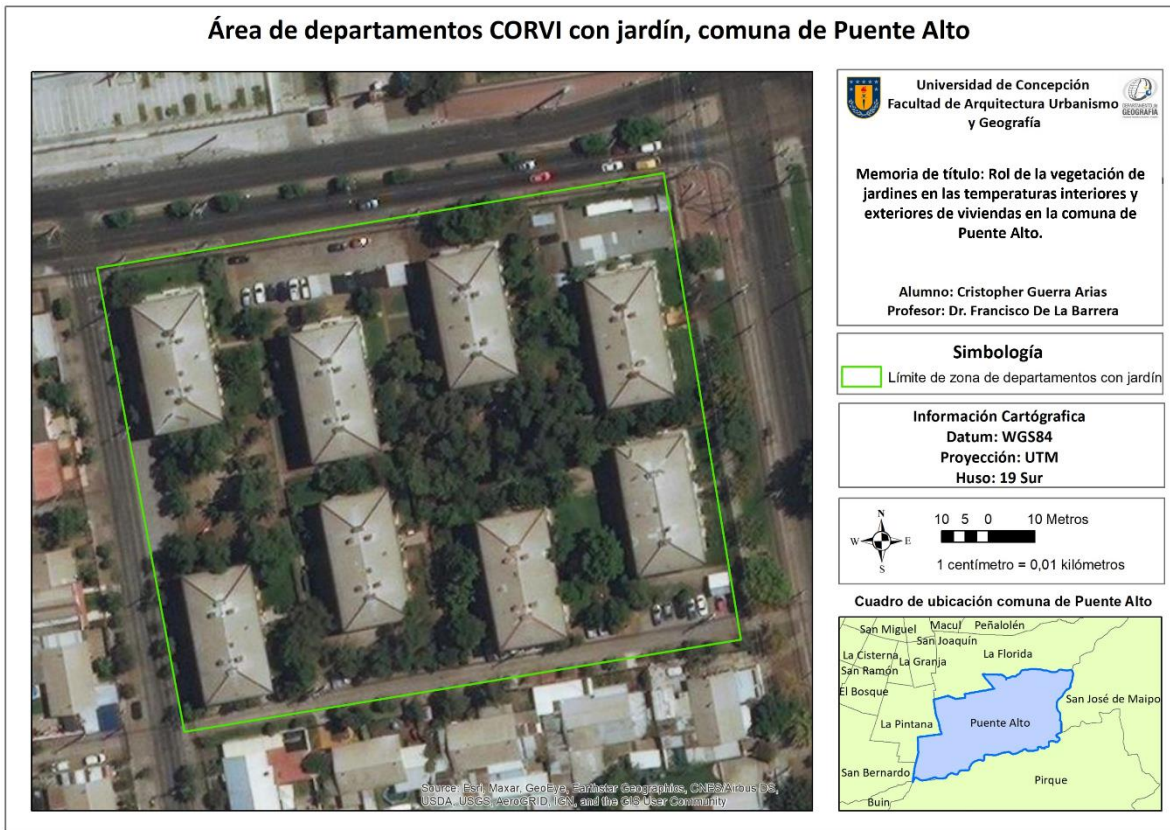
Los barrios seleccionados para este estudio son 4, de los cuales 3 se componen de departamentos de programas de vivienda social (CORVI y MINVU) y uno de viviendas de dos plantas, correspondientes a programas de vivienda sociales. Los 4 barrios se ubican en la Avenida Domingo Tocornal en una extensión longitudinal de aproximadamente 1.770 metros y fueron seleccionados con la intención de representar la variabilidad entre viviendas que poseen jardines interiores, aquellas que poseen pocos jardines interiores, y aquellas que no poseen jardines interiores.

Con la idea de diferenciar en 3 escenarios, se eligieron áreas de estudio que desarrollaran al interior de sus espacios zonas con presencia de jardines interiores, poca presencia de jardines interiores y sin presencia de jardines interiores, mediante la cuantificación del porcentaje que el suelo vegetal representaba en relación a los metros cuadrados totales del área de estudio seleccionada, según la presencia, poca presencia o ausencia de áreas verdes.

3.4.1 Departamentos CORVI con jardín

Esta unidad se emplaza en la Población Nonato Coo intersección de Domingo Tocornal con Concha y Toro, contando con dos avenidas de gran extensión en sentido Este-Oeste y Norte-Sur. Cuenta con ocho edificios de 4 plantas, los que se distribuyen alineados en pares paralelos apuntando hacia el norte y dejando un área común entre ellos donde se desarrolla el área verde. Esta cuenta con abundante cobertura vegetal y especies arbóreas de considerables dimensiones, las que se distribuyen de manera uniforme por el espacio exterior de cada edificio y alcanzan variadas alturas, que pueden ir desde los 2 metros a igualar la altura de los edificios. Dentro de estas mismas áreas, confluyen zonas de estacionamientos en los límites exteriores, las que reemplazan con pavimento los suelos del interior de esta unidad.

Cartografía 4: Departamentos CORVI con jardín



Fuente: Elaboración propia

Imagen 2: Interior área de departamentos CORVI con jardín

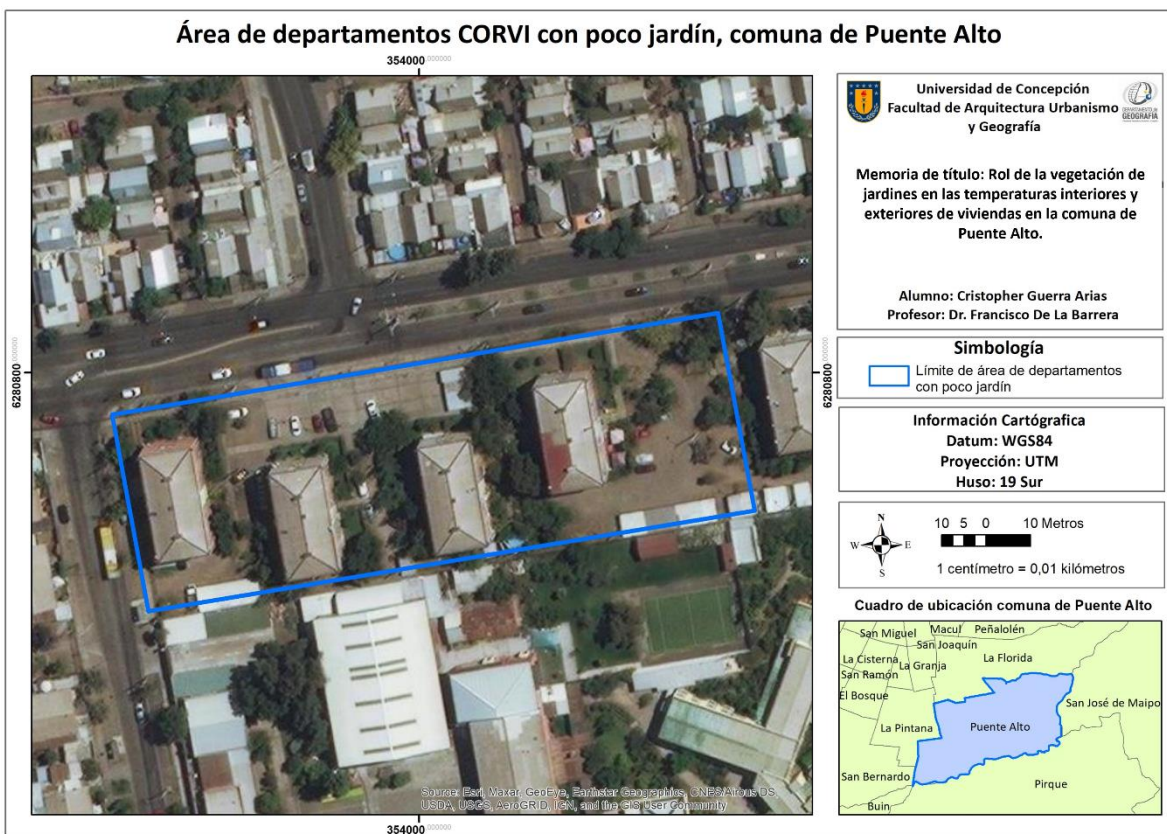


Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Departamentos CORVI con poco jardín

Esta unidad se emplaza en la Población Nonato Coo en la intersección de Domingo Tocornal con Nemesio Vicuña, contando con una gran avenida de extensión en sentido Este-Oeste de cuatro pistas de circulación. Cuenta con 4 edificios de 4 plantas, los que se distribuyen alineados en pares paralelos apuntando hacia el norte y dejando un área común entre ellos donde se desarrollan de forma no mayoritaria porciones de suelo vegetal y áreas de estacionamiento pavimentado y de suelo descubierto.

Cartografía 5: Departamentos CORVI con poco jardín



Fuente: elaboración propia.

Imagen 3: Interior de área de departamentos CORVI con poco jardín

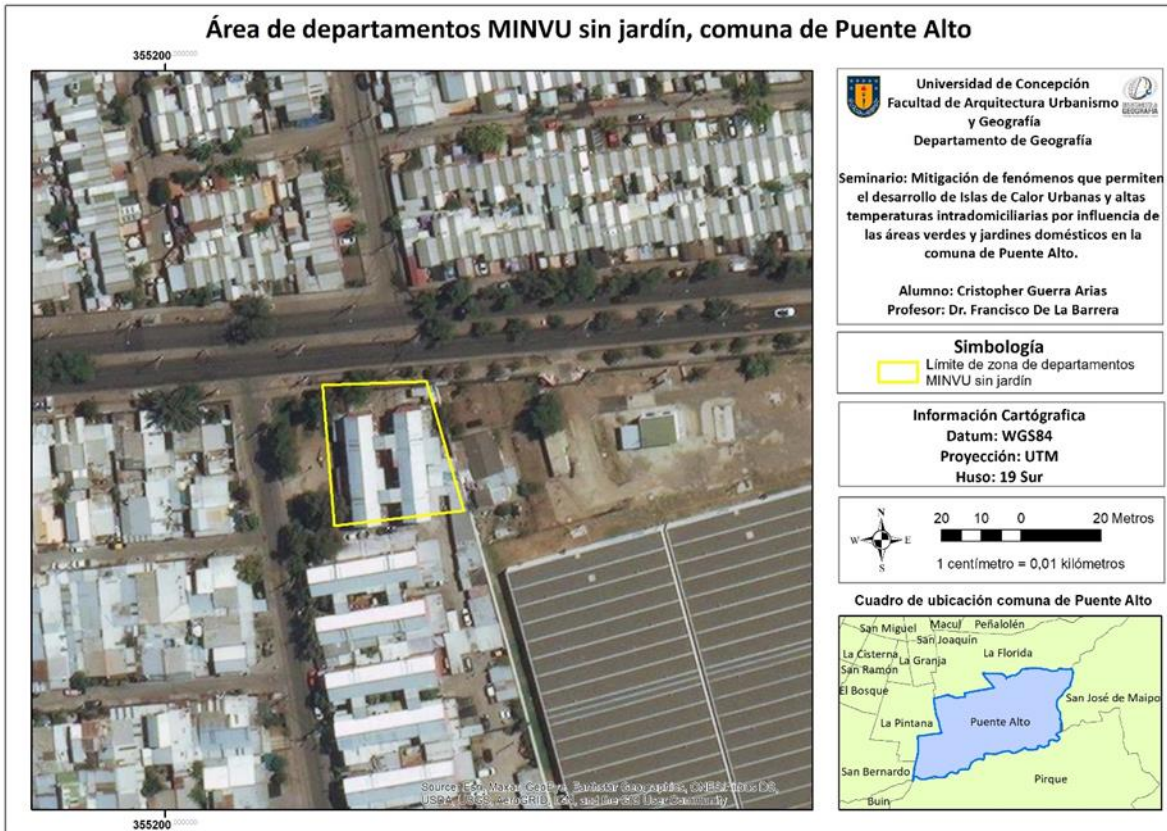


Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Departamentos MINVU sin jardín

Esta unidad se emplaza en la Población El Refugio II, en específico en la intersección de Domingo Tocornal con Calle Uno, contando con una avenida de gran extensión en sentido Este-Oeste. Cuenta con dos edificios de 3 plantas, los que se distribuyen alineados en paralelo apuntando hacia el norte y dejando un área común entre ellos donde se desarrolla el espacio común y se elevan las escaleras de acceso. Esta cuenta con escasa cobertura vegetal predominando las extensiones de suelo construido.

Cartografía 6: Departamentos MINVU sin jardín



Fuente: Elaboración propia

Imagen 4: Área de departamentos MINVU sin jardín

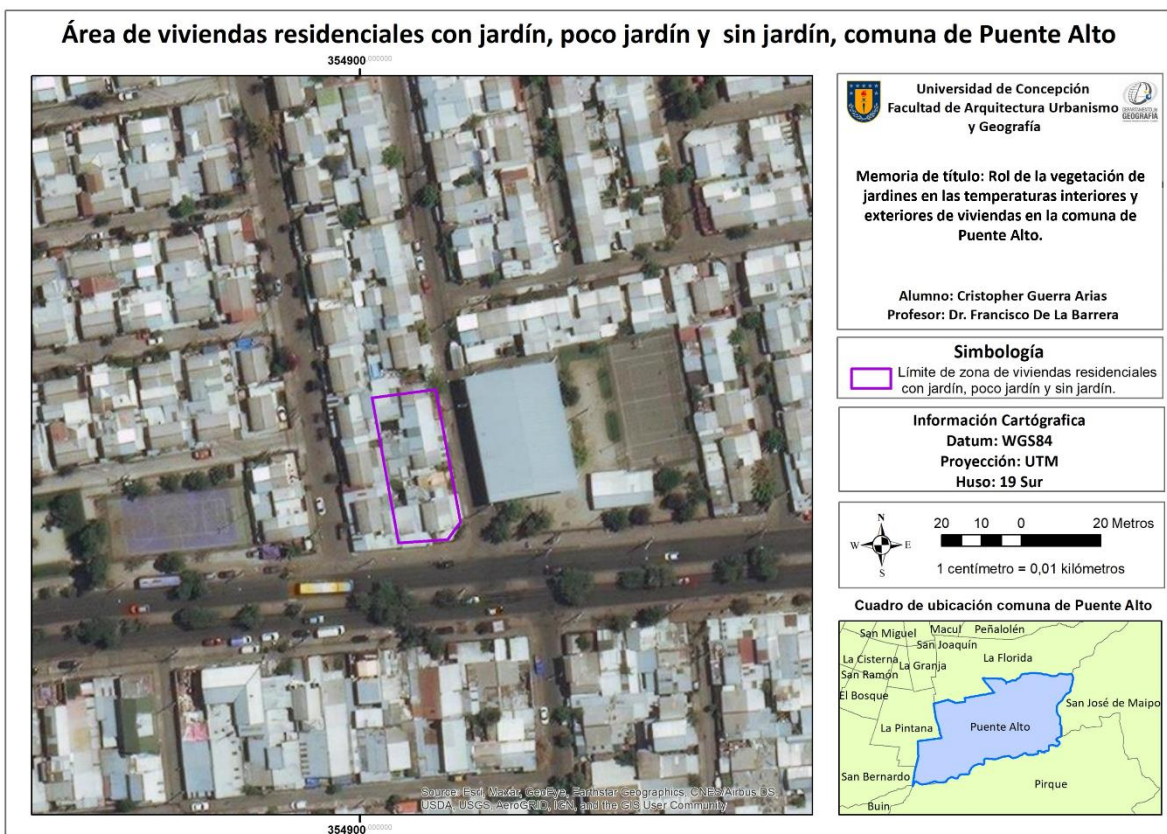


Fuente: Elaboración propia

3.4.4 Viviendas particulares con jardín, poco jardín y sin jardín.

Estas unidades se emplazan en la Villa Las Caletas 1, en específico en la intersección de Domingo Tocornal con Caleta Arrayán, contando con una calle de extensión en sentido Norte-Sur. Cuenta con viviendas de 2 plantas, las que se distribuyen alineados en paralelo apuntando hacia el este. Esta villa cuenta con escasa cobertura vegetal predominando las extensiones de suelo construido, dejando el suelo vegetal al interior de las viviendas, en las arboledas de veredas y en áreas verdes dedicadas al esparcimiento deportivo.

Cartografía 7: Área de viviendas residenciales con jardín y sin jardín



Fuente: Elaboración propia

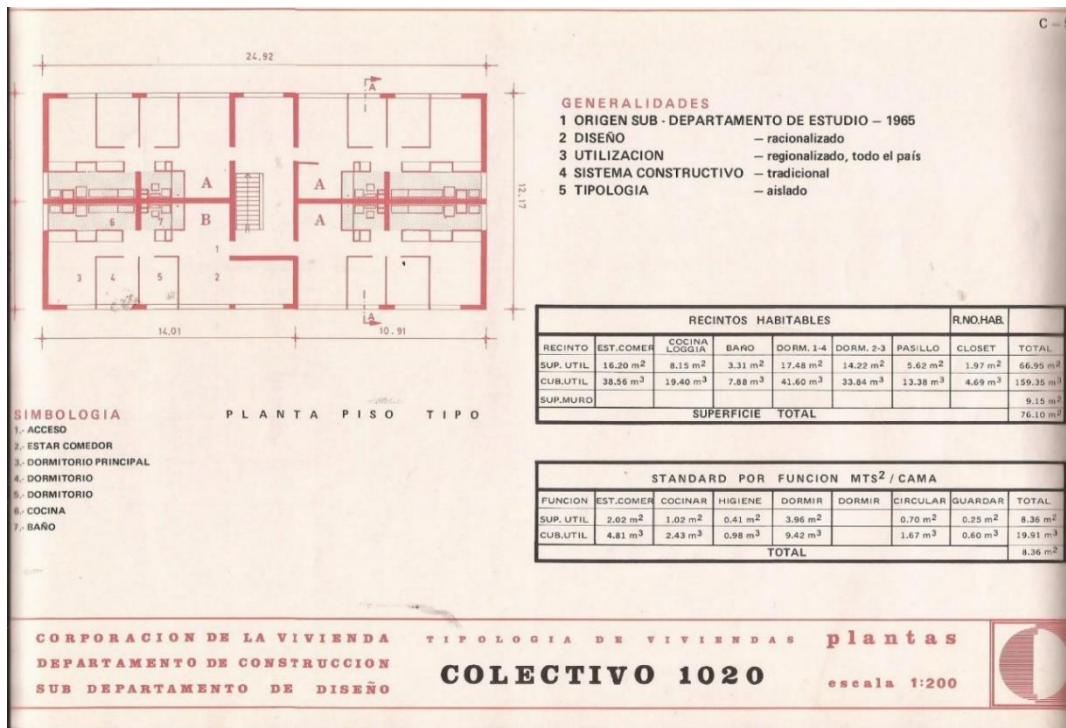
3.5 Contextualización estructural de Barrios seleccionados

3.5.1 Departamentos CORVI

Este tipo de unidades, corresponden a los colectivos 1020 construidos por la Corporación de la Vivienda durante los años 1968 y 1978, siendo diseñados por Jaime Perelman y Orlando Sepúlveda. Fueron parte fundamental de la inversión pública en vivienda en los gobiernos de Eduardo Frei Montalva y Salvador Allende, convirtiéndose en la actualidad, como la muestra patrimonial de viviendas estatales con estándares de calidad y dimensiones que escapan de forma excepcional a los desarrollados durante las últimas 4 décadas.

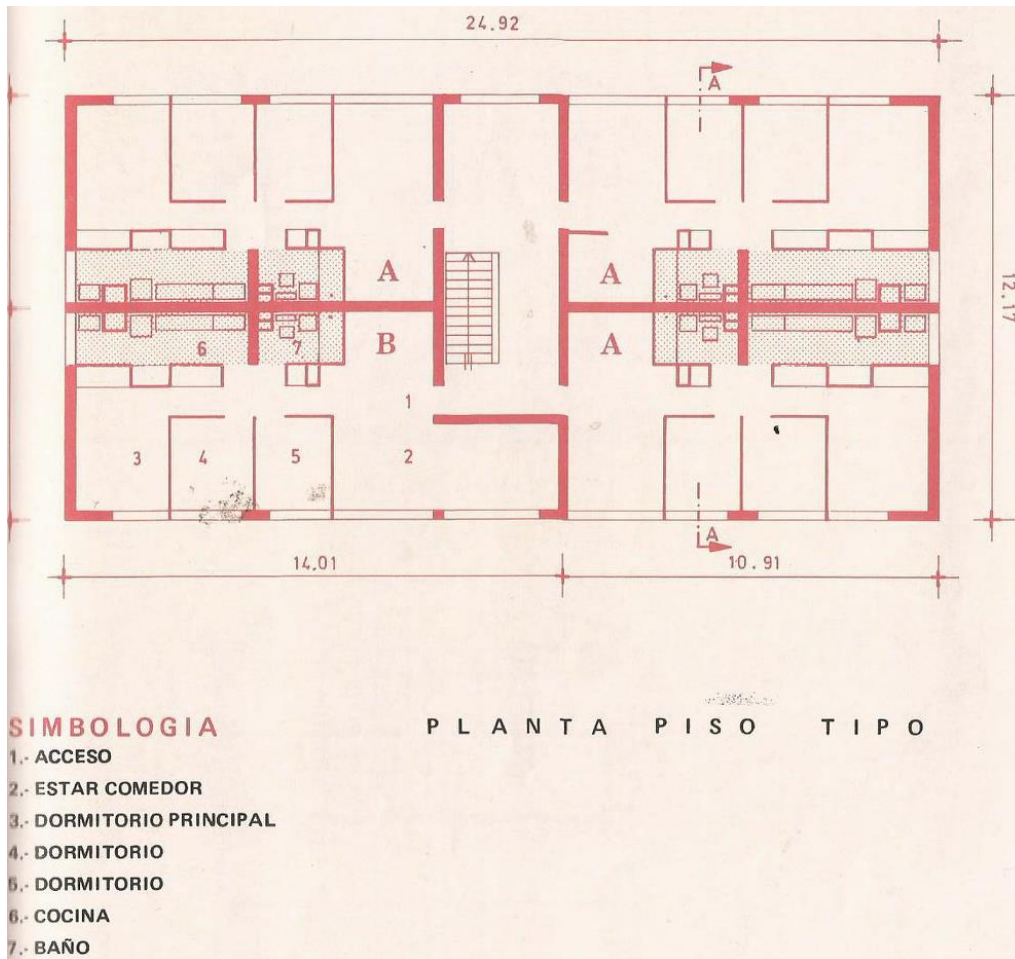
Los colectivos 1020 poseen tres dormitorios, un baño, una cocina y un área que concentra el comedor y una sala de estar, desarrollándose dentro de un área de 66 m² y 75 m² en el último departamento de la cuarta planta, el cual usa la extensión de escalas que en los pisos inferiores forman parte del espacio común.

Imagen 5: Plantas colectivo 1020, CORVI



Fuente: 1010 / 1020. El espacio público entre el bloque y la ciudad

Imagen 6: Plantas de piso colectivo 1020, CORVI



Fuente: 1010 / 1020. El espacio público entre el bloque y la ciudad

Las especificaciones de sus materiales de construcción son los siguientes:

Tabla 15: Detalle de materiales utilizados en la construcción de edificios CORVI

Tipo de Estructura	Materiales
Muros	Albañilería de ladrillo y Hormigón armado
Tabiques	Ladrillos, Planchas de Yeso forrado en cartón
Cubierta	Asbesto, Cemento
Pavimento	Baldosa, Asbesto, Vinilo
Puertas y Ventanas	Madera, Metálicas

Fuente: Elaboración propia

Dentro de las apreciaciones generales de estas unidades, se consideran un icono dentro de la construcción de viviendas sociales, debido a la atípica disposición de espacios y metros cuadrados construidos para cada apartamento de este colectivo, el cual supera por mucho a los que fueron construidos a posterioridad por la misma CORVI y el MINVU en las décadas siguientes siendo capaces de compatibilizar la rapidez y bajo coste de construcción y el acceso a mejores estándares de vida para quienes resultaran beneficiarios de esta tipología de vivienda (Costas & Torrent, 2018).

En conjunto a los colectivos CORVI 1010 fueron capaces de alcanzar la no despreciable suma de 2082 unidades construidas, agrupadas en 105 conjuntos residenciales, los que se situaron en zonas centrales de las ciudades garantizando cercanía a cierto equipamiento, áreas verdes relevantes y buena accesibilidad (Aguirre & Rabi, 2009), y se estructuraron de forma estratégica rectangular con la intención de poder desarrollar espacios interiores dentro del mismo conjunto de colectivos. Es tal la relevancia de las áreas verdes en los proyectos de la CORVI, que en villas y poblaciones de la Región Metropolitana que concentran colectivos CORVI 1010 como la Villa México, Villa José Joaquín Bello y Villa Atilio Mendoza pueden llegar a registrar desde un 68,5% a un 76,5% de la superficie de una macro manzana como superficies absorbentes o permeables, las que se componen por vegetación arbórea, arbustiva, herbácea, césped y senderos de acceso (Gertosio & Pantoja, 2022), mientras que en villas de la Región del Biobío como la Villa San Pedro, que mezcla variados tipos de viviendas de la CORVI incluyendo los colectivos 1010, un 35,7% del conjunto habitacional tuvo un destino de áreas verdes de un total de 153,4 hectáreas que consideraba el proyecto (Frank & Pérez, 2009).

.5.2 Departamentos MINVU

Esta área de estudio forma parte del Programa de Vivienda Básica (PVB) del Ministerio de Vivienda y Urbanismo y el SERVIU durante los años 1984 y el 2002, el cual va dirigido a familias en calidad de allegadas o arrendatarias, que posean ingresos equivalentes de 3 a 8 UF y que se interesen en realizar postulaciones particulares o grupales. Dentro de las tipologías de viviendas y departamentos, esta unidad se desarrolla en esta segunda tipología, con blocks de departamentos de 3

pisos con un área construida de 38 a 42 metros cuadrados. (MINVU, Chile. Un siglo de políticas en vivienda y barrio, 2004).

Esta unidad se enmarca en la Población el Refugio II, la que se finalizó el año 1994 a cargo de la constructora TRANSEX S.A. y se compone por 110 viviendas distribuidas en edificios de departamentos de 3 plantas. (Saavedra, 2017). El proyecto habitacional no consideró el desarrollo de jardines domésticos al interior de los edificios y la población cuenta con escasas y acotadas áreas verdes en los bordes de la unidad territorial.

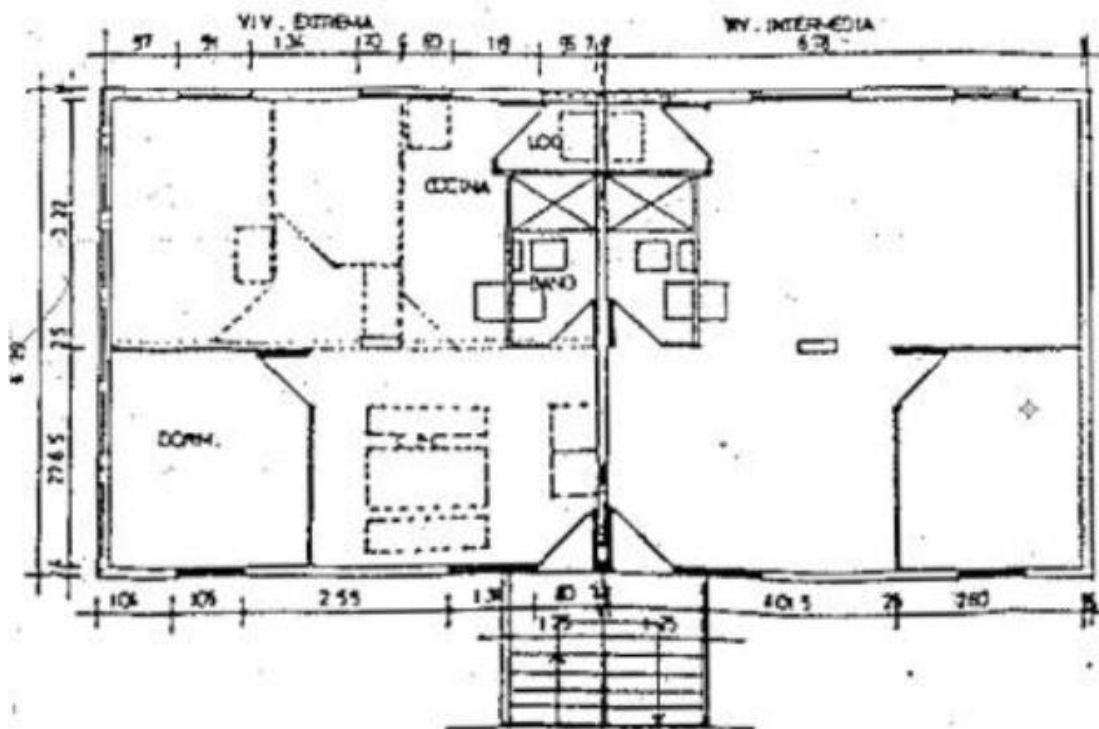
Tabla 16: Detalle de materiales utilizados en la construcción de edificios de apartamentos, Población El Refugio

Tipo de Estructura	Materiales
Muros	Albañilería de ladrillo y Hormigón armado
Tabiques	Planchas de Yeso forrado en cartón
Cubierta	Asbesto
Pavimento	Baldosa
Puertas y Ventanas	Madera, Metálicas

Fuente: elaboración propia

Las especificaciones dimensionales de estas unidades quedan detalladas en la siguiente planimetría:

Imagen 7: Planimetría de planta de edificios de Departamentos en Población El Refugio



Fuente: apoyo técnico del departamento de vivienda de la Ilustre Municipalidad de Puente Alto, en Saavedra, 2017.

3.5.3 Viviendas Particulares

Esta área de estudio se caracteriza por ser un conjunto de viviendas de construcción mixta, en donde la primera planta es de material sólido y la segunda planta es de material ligero, sumando entre ambas plantas un total de 48 metros cuadrados construidos.

Tabla 17: Materiales utilizados en la construcción de viviendas particulares en la Villa Las Caletas 1

Tipo de Estructura	Materiales
Muros	Albañilería de ladrillo, bloques de hormigón, internit.
Tabiques	Planchas de Yeso forrado en cartón y madera (bruta 2x2)
Cubierta	Asbesto
Pavimento	Baldosa, fléxit (vinílico)
Puertas y Ventanas	Madera, Metálicas

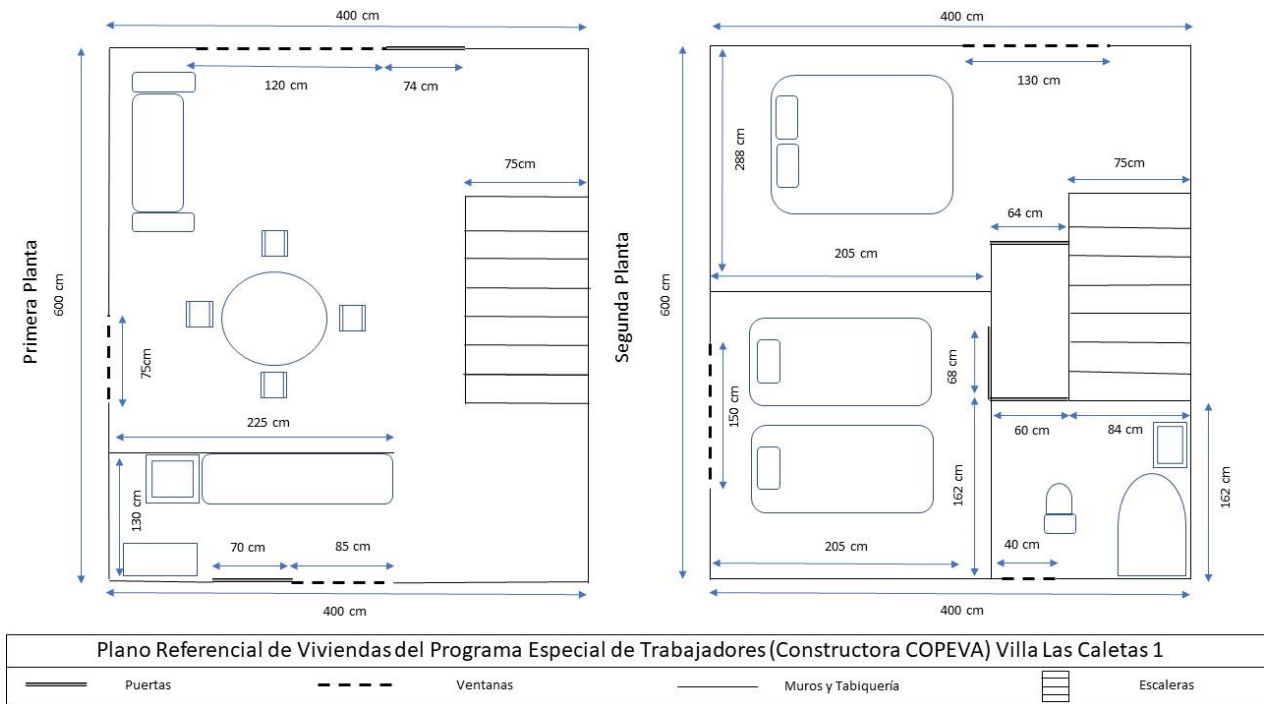
Fuente: Elaboración propia

Estas fueron enmarcadas bajo el Programa Especial de Viviendas para Trabajadores, perteneciente al SERVIU, el cual es gestionado por inmobiliarios privados y poseía como requisitos para los postulantes; A) estar agrupados en un gremio o sindicato con ingreso mensual mayor a 11 UF, B) postular en grupo y con una edad mínima de 25 años. Lo anterior permitía acceder a viviendas nuevas con terminaciones básicas, con superficies construidas que variaban entre 40 y 50 metros cuadrados (Tokman, 2006)

Dentro del proyecto no se consideró el desarrollo de jardines domésticos –lo que quedó en autogestión por los propios residentes- donde la constructora asentó en las veredas de avenidas y pasajes de esta villa árboles de las especies Acer negundo y Platanus x acerifolia, los que debido a sus grandes extensiones fueron arrancados por muchos de los residentes. Además, desarrolló 2 áreas verdes de pequeñas dimensiones (440 m² y 330 m² respectivamente) y un área de 2.500 m² destinado al uso de áreas verdes, espacios deportivos y la sede vecinal.

Las especificaciones dimensionales de estas unidades quedan detalladas en la siguiente planimetría:

Imagen 8: Planimetría representativa de viviendas particulares Villa Las Caletas 1



Fuente: elaboración propia en base a dimensiones registradas en vivienda.

3.6 Materiales y Métodos

3.6.1 Recolección de datos

Para la revisión de la literatura internacional que estudia el aporte de las áreas verdes en el control del microclima urbano, los fenómenos físicos que permiten comprender las islas de calor y la cantidad de áreas verdes que logran mitigar las Islas de Calor Urbanas, se recopilaron trabajos publicados en revistas científicas locales y extranjeras que aluden a las temáticas señaladas. Esta información fue obtenida mediante la descarga de estos trabajos desde repositorios gratuitos como Scihub, Science Direct y Scielo, además de repositorios de paga como Web Of Science, al cual se accedió mediante las credenciales otorgadas por la Biblioteca Central de la Universidad de Concepción.

Para cuantificar el desarrollo de Islas de Calor Urbanas de escala menor y altas temperaturas intradomiciliarias, se pueden utilizar sensores de temperatura, ya sean remotos, móviles o estacionarios instalados en el área de estudio, permitiendo determinar la dinámica de las temperaturas durante los ciclos de análisis de estas mismas.

En esta investigación la captura de los datos de temperatura se obtuvo mediante la utilización de sensores de temperatura (dataloggers I-button), los que son capaces de registrar temperaturas en rangos desde los -40°C y 85°C , (resolución de milésima de grado Celsius) en intervalos de escritura de entre 1 a 255 minutos entre lectura y registro de cada dato con un máximo de 2048 valores de temperatura.

Imagen 9: Dataloggers I-button



Fuente: IButtonLink

Para el objetivo particular de esta investigación, estos sensores de temperatura fueron programados para tomar datos de temperatura cada 15 minutos las 24 horas del día y fueron instalados en zonas interiores (viviendas y departamentos en living comedor) y exteriores de las 4 áreas de estudio (zonas de circulación común, patios o jardines), con la condición fundamental de no ser expuestos a la radiación solar directa en los puntos de instalación.

Cada punto de instalación de sensores considera la orientación en que se asienta la vivienda o departamento en estudio, debido a que la circulación del sol en referencia al punto de estudio genera una dinámica de exposición a la radiación solar que es variable en función de la posibilidad de generación de sombra por parte de infraestructuras construidas cercanas o de especies vegetales de gran altura como los árboles, o a la negación de la exposición directa por la efecto de las estructuras anteriormente mencionadas. La orientación de la vivienda también es importante para la consideración de la circulación de los vientos, ya sea por su interior como renovaciones de aire o por el exterior de la estructura habitacional, los

cuales poseen la capacidad de incidir en el comportamiento de las temperaturas, sin embargo no se integrará esta diferenciación en la nomenclatura de denominación de cada sensor que no distingue entre interiores ni exteriores en su rótulo, sino que sólo los denomina en función de los 3 tipos de jardín en función de la cantidad de este mismo, desglosándose en tres tipos ; a) Con Jardín (CORVI con jardín) , b) Con poco Jardín (CORVI con poco jardín) y c) Sin Jardín (MINVU), los que son detallados en la sección 3.4. y su número de sensor. El resultado de lo anterior es la definición de cada punto de registro de datos de, las cuales son entregadas en la siguiente tabla:

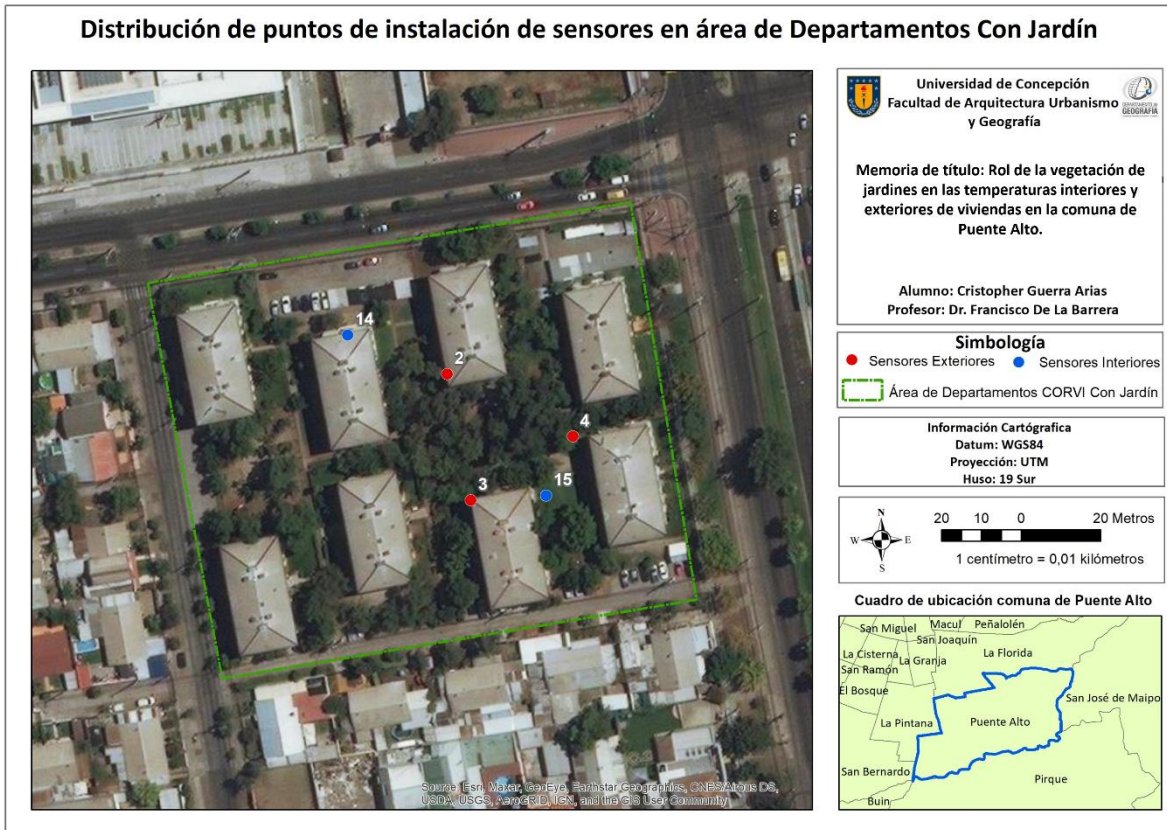
Tabla 18: Nomenclatura de sensores utilizados en la recolección de datos

Nro. Sensor	Tipo de Jardín	Tipo de vivienda	Ubicación	Nomenclatura
2	Con Jardín	CORVI	EXT	Sensor 2 Con Jardín
3	Con Jardín	CORVI	EXT	Sensor 3 Con Jardín
4	Con Jardín	CORVI	EXT	Sensor 4 Con Jardín
14	Con Jardín	CORVI	INT	Sensor 14 Con Jardín
15	Con Jardín	CORVI	INT	Sensor 15 Con Jardín
8	Con Jardín	Vivienda Particular	EXT	Sensor 8 Con Jardín
9	Con Jardín	Vivienda Particular	INT	Sensor 9 Con Jardín
5	Poco Jardín	CORVI	EXT	Sensor 5 Con Poco Jardín
6	Poco Jardín	CORVI	EXT	Sensor 6 Con Poco Jardín
7	Poco Jardín	CORVI	EXT	Sensor 7 Con Poco Jardín
16	Poco Jardín	CORVI	INT	Sensor 16 Con Poco Jardín
17	Poco Jardín	CORVI	INT	Sensor 17 Con Poco Jardín
18	Poco Jardín	CORVI	INT	Sensor 18 Con Poco Jardín
19	Poco Jardín	CORVI	INT	Sensor 19 Con Poco Jardín
10	Poco Jardín	Vivienda Particular	EXT	Sensor 10 Con Poco Jardín
11	Poco Jardín	Vivienda Particular	INT	Sensor 11 Con Poco Jardín
20	Sin Jardín	MINVU	INT	Sensor 20 Sin Jardín
21	Sin Jardín	MINVU	EXT	Sensor 21 Sin Jardín
22	Sin Jardín	MINVU	INT	Sensor 22 Sin Jardín
23	Sin Jardín	MINVU	EXT	Sensor 23 Sin Jardín
24	Sin Jardín	MINVU	INT	Sensor 24 Sin Jardín
25	Sin Jardín	MINVU	EXT	Sensor 25 Sin Jardín
12	Sin Jardín	Vivienda Particular	EXT	Sensor 12 Sin Jardín
13	Sin Jardín	Vivienda Particular	INT	Sensor 13 Sin Jardín

Fuente: Elaboración propia.

Los puntos de muestreo detallados en la tabla anterior se diseminan a través de las 4 áreas de estudio de la siguiente forma:

Cartografía 8: Distribución de puntos de instalación de sensores 2,3,4,14 y 15



Fuente: Elaboración propia.

Los sensores exteriores 2, 3 y 4 fueron instalados en zonas de circulación común a través de los jardines interiores del área, intentando capturar zonas de exposición solar y zonas a resguardo en el centro de esta misma zona, representando

Los dos puntos interiores fueron ubicados en departamentos asentados en las plantas 3 (sensor 14) y en la segunda planta (sensor 15) respectivamente.

Cartografía 9: Distribución de puntos de instalación de sensores 5,6,7,16,17,18 y 19



Fuente: Elaboración propia.

Los sensores exteriores 5, 6 y 7 fueron instalados en zonas de circulación común a través de las áreas de ingreso interior, exterior y espacios de estacionamiento, capturando zonas de exposición solar y a resguardo de la exposición directa entre áreas de circulación entre edificios, las que atenúan la recepción de radiación solar.

Los sensores interiores 16, 17, 18 y 19 fueron ubicados en puntos de exposición solar constante y esto se ubican en la primera planta (sensor 16), segunda planta (sensores 17 y 19) y tercera planta (sensor 18) de sus edificios respectivamente.

Cartografía 10: Distribución de instalación de sensores 8,9,10,11,12 y 13



Fuente: Elaboración propia.

Los sensores exteriores 8, 10 y 12 fueron instalados en el exterior de las viviendas particulares, en zonas que permiten identificar las diferencias entre viviendas, alojando el sensor 8 en el jardín de su vivienda, el sensor 10 en la vivienda con poco jardín y el sensor 12 en una vivienda sin jardín.

Los sensores interiores 9, 11 y 13 fueron instalados dentro de las viviendas en que se ubicaron los sensores exteriores, representando cada vivienda con la presencia o no presencia de jardines. Todos los sensores fueron ubicados en la primera planta de estas viviendas.

Cartografía 11: Distribución de puntos de instalación de sensores 20,21,22,23,24 y 25



Fuente: Elaboración propia.

Los sensores exteriores 21, 23 y 25 fueron instalados en zonas de circulación común específicamente en las áreas de ingreso a los departamentos que comprenden balcones y escalas, permitiendo captar la exposición solar. El sensor 21 fue asentado en la segunda planta, mientras que los sensores 23 y 25 se establecieron en la tercera planta.

Los sensores 20, 22 y 24 fueron ubicados al interior de las viviendas donde se instalaron los sensores exteriores, asentándose en las mismas plantas detalladas anteriormente.

En paralelo, para cuantificar la relación entre las temperaturas desarrolladas y las áreas verdes, se realizó un análisis de uso de suelo de las áreas seleccionadas por esta investigación, las que identificaron la superficie de suelo vegetal, suelo construido y suelo descubierto de cada unidad de estudio. Esto permitió su cuantificación de los metros cuadrados de superficie por cada uso de suelo,

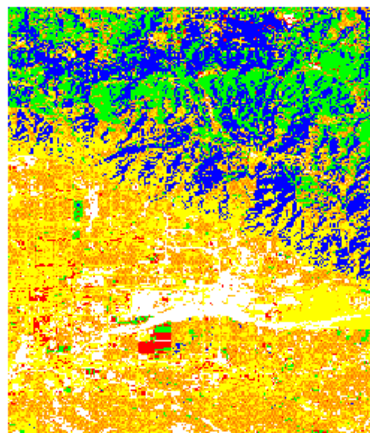
mediante la utilización de ArcMap y su módulo de clasificación de imágenes satelitales con el algoritmo maximum likelihood (máxima verosimilitud). Mediante este algoritmo, se puede clasificar píxeles de una imagen ráster, según la similitud que contenga cada píxel en relación con una muestra de píxeles seleccionados por el analista, los cuales representan un tipo de suelo que al ser analizados matemáticamente identifican los valores similares de píxel con la muestra, y las agrupa como clase.

Imagen 10: Ejemplos de clasificación de muestra de píxeles por el analista



Fuente: ArcGis for Desktop

Imagen 11: Resultado de clasificación de uso de suelo por maximum likelihood



Fuente: ArcGis for Desktop

3.6.2 Período de registro de datos

El total de días de muestreo fueron 13 y comprenden el periodo transcurrido entre el 1 de marzo del 2019 y el 13 de marzo del 2019, excluyendo los días en que aún no se instalaban todos los sensores y la fecha de su retiro, con la intención de estandarizar al máximo los días en que todos los sensores estaban en su posición. Si bien las temperaturas extremas llegan a su peak durante los meses de enero y febrero, el mes de marzo sigue siendo representativo de las extremas de calor que esta investigación considera en el registro de temperaturas al interior y exterior de viviendas en las extremas desarrolladas en verano.

Las temperaturas de referencia, que se desarrollaron durante la fecha de muestreo se extraen desde la información entregada por Meteorología de Chile con registros de la estación de monitoreo oficial Eulogio Sánchez (instalada en el Aeródromo Tobalaba), debido a ser la más cercana a representar la realidad local de las áreas de muestreo. Si bien otras estaciones integradas en el sistema SACLIM de Meteorología de Chile son más cercanas a la utilizada, estas no registran el mismo volumen de datos y por tanto no aseguran series diarias como la utilizada.

Tabla 19: Registro de hora de temperaturas máximas y mínimas durante los días de registro de temperaturas

Día de Muestreo	Fecha	T Máx.	Hora T Máx.	T Min	Hora T Min.
1	01-mar-19	31	20:00	14	11:00
2	02-mar-19	31	19:00	14	11:00
3	03-mar-19	28	19:00	15	11:00
4	04-mar-19	27	19:00	15	11:00
5	05-mar-19	30	18:00	12	11:00
6	06-mar-19	30	19:00	14	11:00
7	07-mar-19	29	20:00	14	11:00
8	08-mar-19	25	18:00	13	11:00
9	09-mar-19	27	20:00	11	11:00
10	10-mar-19	26	20:00	11	11:00
11	11-mar-19	28	19:00	13	11:00
12	12-mar-19	31	20:00	12	11:00
13	13-mar-19	29	20:00	13	11:00

Fuente: Meteored

3.6.3 Procesamiento de datos

La información registrada por cada sensor de temperatura consiste en una base de datos que contiene los valores de temperatura que estos sensores inscribieron en intervalos de 15 minutos (programado para registrar en ese intervalo de tiempo), durante las 24 horas del día, por los 13 días de muestreo, generando un total de 29.928 registros de temperatura captados desde las 00:00 hrs. del 1 de marzo del 2019 a las 23:59 hrs. del 13 de marzo del 2019. Cada uno de estos registros quedo conservado en la memoria interna de cada sensor de temperatura, la que fue exportada de su fuente de almacenamiento mediante códigos de programación lineal desarrollados en R (software de entorno y lenguaje de programación que apoya el análisis estadístico), permitiendo ordenar cada registro de temperatura por fecha y por cada punto de registro en una sola base de datos en formato Excel.

La base de datos resultante fue integrada en Excel, permitiendo modelar los datos procesando de forma independiente los registros de temperatura durante el día y durante la noche, considerando intervalos desde las 08:00 hrs. a las 20:00 hrs. como registros de día y los intervalos de 20:01 hrs. a 07:59 hrs. como registros de noche. Esto se realizó debido a que el análisis preliminar de los registros mostraba dos bimodales de temperaturas (día y noche) y separándolas permite observar la varianza de las temperaturas en el periodo diurno y nocturno por separado.

Una vez identificados los registros de temperatura diurna y nocturna en Excel se procedió a elaborar gráficos de Box Plot en este mismo software, accediendo de manera expedita a diversos tipos de valores estadísticos a través de la identificación de estos en las “cajas” que representan los diagramas, donde la zona inferior de la caja representa el primer cuartil (señala al 25% de los valores que son menores o iguales a este número), la línea media representa el segundo cuartil o la mediana (divide en partes iguales la distribución en el 50% de los valores que son iguales o menores que este número), la zona superior de la caja indica el tercer cuartil (indica al 75% de los valores como menores o iguales a este número) y el rango intercuartílico es representado por el área interior de la caja marcando la diferencia entre el primer cuartil y el tercer cuartil (esta diferencia indica donde se concentran

los datos desde el 25% al 75% de ellos). Por su parte las etiquetas de datos permiten identificar los valores de mínima, máxima, primer cuartil y tercer cuartil, la mediana y el promedio se mantienen sin etiqueta para su fácil lectura. También es posible identificar en estos gráficos las extremas de temperatura (máximas y mínimas), que permiten identificar los valores de amplitud térmica registrada por cada sensor.

La primera serie de gráficos de Box Plot ordena los sensores en función de las 3 categorías de tipos de viviendas y sus áreas verdes, es decir “con jardín”, “con poco jardín” y “sin jardín” tanto para sensores instalados en interiores y exteriores, en períodos diurnos y nocturnos, generando así 4 gráficos de cajas.

La segunda serie de gráficos considera la influencia de las áreas verdes en este desarrollo de temperaturas interiores y exteriores, utilizando la información recolectada desde la clasificación de imágenes satelitales y la cuantificación de la superficie que 3 tipos diferentes de suelo (suelo vegetal, suelo construido y suelo descubierto) poseen en cada área de viviendas seleccionadas. Esta información se obtiene de forma directa desde el procesamiento en ArcMap, mediante el cálculo de superficie de los polígonos que representan los píxeles identificados como suelo en particular. Esta matriz de superficie por cobertura en función del tipo de vivienda (con jardín, poco jardín y sin jardín doméstico) resultante se integra para ser relacionada con los datos de temperatura promedio de los sensores interiores y exteriores seleccionados, permitiendo observar una relación de influencia del porcentaje de áreas verdes en el desarrollo de las temperaturas.

Para las series de período diurno cada sensor de temperatura recolectó un total de 624 registros de temperatura generando un total de 14.976 registros que fueron utilizados en la construcción de los gráficos de día, mientras que para el periodo nocturno cada sensor recolectó 592 registros de temperatura generando un total de 14.208 registros que construyeron los gráficos del período nocturno.

4 Resultados

4.1 Revisión de la literatura internacional sobre las islas de calor urbanas

La revisión de la literatura que contextualiza la información relacionada a las islas de calor urbana consta de un total de 18 títulos directamente relacionados al fenómeno de la isla de calor, su descripción, que las produce, la importancia de analizarlas y los diferentes tipos de islas de calor. Además, se revisan 12 trabajos que se dirigen a los diferentes aportes que las áreas verdes realizan en el control del microclima urbano y 5 trabajos que permiten identificar una cuantificación de áreas verdes para lograr mitigar el fenómeno de las islas de calor urbanas.

Tabla 20: revisión de literatura internacional sobre las islas de calor urbanas

Autores	Año	Título del artículo	Revisión del Artículo	Ítem
Gartland, Lisa.	2008	Heat Islands Understanding and mitigating heat in urban areas	La isla de calor urbana es un fenómeno en el cual se desarrollan temperaturas más calientes en áreas urbanas que en las zonas rurales.	Que es la Isla de Calor Urbana
Oke, T.R.	1987	Boundary layer climates	Diferencia de temperaturas entre áreas urbanas y rurales está ligado a la influencia que ciudades ejercen en las causas de las islas de calor urbanas, como incremento de absorción de radiación de onda corta, incremento de radiación de onda larga, fuentes de calor antropogénico, aumento de almacenamiento de calor sensible, descenso de la evapotranspiración y descenso de la turbulencia total del aire capaz de transportar calor.	
Wong et. al	2021	Greenery as a mitigation and adaptation strategy to urban heat	Cambios de uso de suelo por urbanización facilitan absorción de energía solar, aumento de calor sensible, captación de calor, reducción de evapotranspiración, y aumento de calor por actividades humanas.	Que produce las Islas de calor urbanas
Sarricolea, Pablo	2012	La isla de calor urbana de superficie y sus factores condicionantes: El caso del área metropolitana de Santiago.	En paralelo a la ocurrencia de una isla de calor se desarrolla una zona de escasa humedad, según el trabajo de Tony Chandler que complementó a Mandev.	

Autores	Año	Título del artículo	Revisión del Artículo	Ítem
Santamouris,M.	2015	Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions	Aumento de temperatura por Islas de calor urbanas alcanza variaciones entre 0,4° C y 11° C en ciudades y regiones de Asia y Australia.	Por qué es importante analizar las islas de calor urbanas
Sakka et al	2012	On the thermal performance of low-income housing during heat waves	Ocurrencia de desarrollo de altas temperaturas en el interior de departamentos residenciales en zonas de bajos ingresos, que al superar los 30°C reiteradamente constituyen un riesgo para la salud humana.	
Robine et al	2008	Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003	Impacto de altas temperaturas máximas ha llegado a incidir directamente en el fallecimiento de 70000 habitantes de Europa Central y el Norte de Europa durante la ola de calor del verano de 2003.	
Heaviside et al	2016	Attribution of mortality to the urban heat island during heatwaves in the West Midlands, UK	Durante la ola de calor del 2003 en ciudades como Birmingham alcanzaron un total de muertes de aproximadamente 90 personas.	
Bustamante et al	2005	Uso Eficiente de la Energía en Edificios Habitacionales. Mejoramiento Térmico de Muros de Albañilería de Ladrillos Cerámicos. El Caso de Chile.	Vigencia de la reglamentación térmica de edificios en Chile es una política orientada a mejorar la calidad de vida de población residente en viviendas de gestión estatal (utilizada mayoritariamente por población vulnerable) para corregir la deficiente aislación térmica atribuible a albañilería escasamente adaptada y estudiada.	

Autores	Año	Título del artículo	Revisión del Artículo	Ítem
Voogt J.A.	2008	Urban Heat Islands: Hotter Cities	La isla de calor de superficie es aquella que permite ser cuantificada a través de sensoramiento remoto debido a que presentan valores representativos a nivel del suelo.	Isla de Calor Urbana de superficie
Roth	2012	Handbook Enviromental Fluid Dynamics	La isla de calor de superficie comprende toda la estructura tridimensional de la superficie, integrando trama urbana e infraestructuras que poseen elementos altamente vulnerables a las variaciones que la radiación solar les genera, como por ejemplo temperaturas cálidas y generando diferencias de temperatura severas durante el día.	
The energy and Resources Institute	2017	Final Report on Urban Planning Characteristics to Mitigate Climate Change in Context of Urban Heat Island Effect	La isla de calor superficial se desarrolla cuando superficies secas se encuentran altamente expuestas a la radiación solar. La magnitud de la exposición depende de forma diaria y estacional, acentuándose en verano y habito diurno, además de por cielos despejados y menor circulación de vientos.	
The energy and Resources Institute	2017	Final Report on Urban Planning Characteristics to Mitigate Climate Change in Context of Urban Heat Island Effect	La isla de calor de capa límite se desarrolla entre los tejados y copa de los árboles hasta la altura en donde las ciudades ya no impactan en la atmosfera.	Isla urbana de calor de capa límite
Voogt J.A.	2008	Urban Heat Islands: Hotter Cities	Este tipo de isla de calor se expresa sobre la capa de dosel alcanzando extensiones verticales de hasta 1 km durante el día y de cientos de metros durante noche. Puede ser cuantificada por sensores remotos y termómetros.	
Roth	2013	Handbook Enviromental Fluid Dynamics	Las islas de calor urbanas de capa límite son capaces de adveclar masas de aire caliente a grandes alturas verticales y horizontales representando una menor diferencia entre zonas urbanas y rurales haciéndose más notoria durante el día ya que la temperatura tiene relación positiva con la exposición solar.	
Voogt J.A.	2008	Urban Heat Islands: Hotter Cities	Es aquella masa de aire que se presenta entre la superficie y la altura media de las superficies construidas, permitiendo medición específica.	Isla de calor de dosel urbano
Roth	2013	Handbook Enviromental Fluid Dynamics	Se centra en percibir la interacción de la energía captada por la infraestructura urbana y las masas de aire que circulan por el cañón urbano. Las variaciones dentro de una ciudad forman isothermas en formas de islas, que representan temperaturas más elevadas a las otras superficies concentrándose estas en los centros urbanos y los descensos en la periferia, con la excepción de zonas urbanas con presencia de áreas verdes y cuerpos de agua que marcan descensos.	
The energy and Resources Institute	2017	Final Report on Urban Planning Characteristics to Mitigate Climate Change in Context of Urban Heat Island Effect	Esta isla de calor conjuga diferentes infraestructuras que componen las zonas urbanas, como espacios construidos dedicados a la habitabilidad y servicios y las infraestructuras verdes como jardines residenciales, parques y plazas.	

Fuente: elaboración propia

4.1.1 Aporte de las áreas verdes en el control del microclima urbano

Tabla 21: Aporte de las áreas verdes en el control del microclima urbano

Autores	Año	Título del artículo	Revisión del Artículo	Ítem
Millennium Ecosystem Assesment Board	2005	Ecosystems and Human Well-being.	Los servicios ecosistémicos, son materia constante de análisis en el mundo científico, debido a su influencia directa en la forma de comprender los cambios de los ecosistemas y como estos son capaces de contribuir al bienestar humano.	Áreas verdes, microclima urbano y mitigación del fenómeno de las islas de calor urbanas
Camacho & Ruiz	2011	Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos.	Síntesis de Ecosistemas y bienestar humano considera 4 tipos de servicios ecosistémicos; soporte, regulación, provisión y culturales. Algunos autores, señalan que los servicios ecosistémicos carecen de aptitudes, por la complejidad de separar los servicios de regulación y los de soporte	
Barron, D. A.	2015	Áreas verdes públicas lineales y su aporte a la integración social en Santiago de Chile.	Existe consenso general en cuanto la provisión de servicios desde las áreas verdes, las que entregan 24 servicios. Los servicios de regulación participan en fenómenos y procesos naturales, que pueden evolucionar en riesgos naturales, como el caso de las olas de calor.	
Millennium Ecosystem Assesment Board	2005	Ecosystems and Human Well-being	Las áreas verdes aportan con 3 servicios que mitigan las islas de calor; A) la regulación del clima, b) regulación de la calidad del aire y c) la regulación del agua.	

Autores	Año	Título del artículo	Revisión del Artículo	Ítem
Ochoa de la Torre	1999	La vegetación como instrumento para el control micro climático.	Las áreas verdes regulan la temperatura debido a su capacidad de impactar en los fenómenos físicos determinantes para el microclima local, mediante la alteración del balance energético de la radiación solar o radiación neta, donde reduce la radiación difusa o directa que llega a la superficie terrestre en radiación de onda corta y radiación de onda larga entrante.	Áreas verdes y la regulación de la temperatura
Yang et Al	2005	The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction.	En la ciudad de Beijing equipos de investigación, han cuantificado cómo se comportan las zonas de alta densidad arbórea dentro de la ciudad en la captación de carbono. Un área con gran cantidad de especies arbóreas fue capaz de secuestrar 224.000 toneladas de carbono en biomasa, con un peak durante el mes de abril, que coincide con la primavera en el hemisferio norte. Esta captación de gases contaminantes es una reducción directa del calor antropogénico desarrollado en esta ciudad.	
Bustamante Oleart	2015	La ciudad y el viento: La morfología urbana y su relación con el uso estancial del espacio público abierto en territorios con vientos fuertes y climas fríos.	Las áreas verdes al ser superficies rugosas contribuyen a la formación de turbulencia mecánica en el aire y disminuye las turbulencias térmicas reduciendo la velocidad del viento, dosificando el paso del flujo de aire.	

Ochoa de la Torre	1999	La vegetación como instrumento para el control micro climático.	El efecto de un árbol aislado no es significativo, ya que desaparece rápidamente debido a los movimientos del aire (ya sea por viento o convección), pero cuando se trata de un microclima aislado de los sistemas atmosféricos predominantes, entonces si es posible apreciar los efectos de la vegetación. Un ejemplo serían los grandes parques en áreas densamente urbanizadas, rodeados de edificios altos en todos sus costados, o bien los patios interiores de manzana y de los edificios.	Áreas verdes y la regulación de la temperatura
Grujic, J.	2011	Funcionalidades de la vegetación en el metabolismo de edificio.	En condiciones de verano los beneficios térmicos de la cubierta con vegetación - comparado con otros materiales-, proporcionan sombra y enfriamiento evaporativo, que están relacionados con la evapotranspiración, desde las hojas de la planta y desde el suelo.	
Smithers et Al	2018	Comparing the relative abilities of tree species to cool the urban environment.	Las áreas verdes mitigan el calor almacenado, a través de su influencia en la conductividad, capacidad calórica y la difusividad térmica de los materiales expuestos a la radiación solar. Si se considera un árbol real expuesto a radiación solar, este reducirá aún más el almacenamiento de calor y, por lo tanto, mejorará el aumento de la temperatura del aire, mediante el uso de energía para convertir el agua en vapor durante la transpiración (es decir aumentando el flujo de calor latente). Lo anterior ilustra que la capacidad de un árbol para reflejar la radiación solar y la sombra afectan a la radiación solar y la capacidad de transpiración de un árbol afecta el flujo de calor latente ya que transpirar afecta al calor latente y en paralelo al almacenamiento de calor y la temperatura del aire.	
Aram et Al	2019	Urban green space cooling effect in cities.	El efecto positivo en la contribución a esta regulación está altamente determinado por las dimensiones de la extensión espacial del área verde, y como estas inciden en las temperaturas registradas, ya que su distribución y extensión territorial incide en este tipo de análisis.	
Salas & Herrera	2017	La vegetación como sistema de control para las islas de calor urbano en Ciudad Juárez, Chihuahua.	y además de los hábitos de regadío y cuidado de esta, las especies que la componen, su densidad y organización, y de cómo el entorno de esta esté configurado.	

Fuente: elaboración propia

4.1.2 Cantidad de áreas verdes que logran mitigar las Islas de Calor Urbanas.

Tabla 22: Cantidad de áreas verdes que logran mitigar las Islas de Calor Urbanas

Autores	Año	Título del artículo	Revisión del Artículo	Rango de Descenso	Tamaño de área verde
Hamada & Ohta	2010	Seasonal Variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding areas.	Para el caso de los parques urbanos de gran tamaño, se registran valores de 1.9 °C más bajos en un parque de 147 hectáreas en Nagoya, con relación a otras áreas de la ciudad	0 °C- 1,9°C	147 ha
Doick et Al	2014	The Role of One Large Greenspace in Mitigating London's Nocturnal Urban Heat Island.	en los jardines de Kensington en Londres, las reducciones de temperatura en verano pueden ir desde los 1,1 °C y 4 °C, en un parque de 111 hectáreas de extensión	1,1°C - 4°C	111 ha
Vaz Monteiro et al	2016	The impact of greenspace size on the extent of local nocturnal air temperature cooling in London.	En el caso intermedio de los parques de mediano tamaño, otro estudio en Londres analizó los resultados clasificando según la extensión de cada parque. Los parques de extensión de 0,5 a 2 hectáreas registran descensos de 0,3 °C.	0°C - 0,3°C	0,5 ha - 2 Ha
Vaz Monteiro et al	2016	The impact of greenspace size on the extent of local nocturnal air temperature cooling in London.	En el mismo estudio señalado en Londres, Los parques de extensión de 3 a 5 hectáreas registran un descenso de 0,7 °C.	0°C - 0,7°C	3 ha - 5 Ha
Vaz Monteiro et al	2016	The impact of greenspace size on the extent of local nocturnal air temperature cooling in London.	Mientras que, en el estudio anterior, los parques que poseen una extensión de más de 12 hectáreas pueden disminuir en 1°C la temperatura en áreas cercanas a estas áreas verdes.	0°C - 1°C	12 ha
Park et al	2017	The influence of small green space type and structure at the street level on urban heat island mitigation.	En el caso de los parques de pequeñas extensiones, un estudio realizado en la ciudad de Seúl, analizo los registros en parques de similares características, pero con distintas extensiones. El parque de 300 m2, fue capaz de reducir en 1°C la temperatura.	0°C - 1°C	300 m2
Park et al	2017	The influence of small green space type and structure at the street level on urban heat island mitigation.	Dentro del estudio anterior el otro parque de una dimensión de 650 m2 hizo lo propio en un valor de 2°C de reducción en la temperatura.	0°C - 2°C	650 m2
Salas & Herrera	2017	La vegetación como sistema de control para las islas de calor urbano en Ciudad Juárez, Chihuahua.	Un estudio realizado en Ciudad Juárez mostró que en un área verde de 0,78 hectáreas y una cobertura de 6,9 m2 por árbol, puede disminuir la temperatura en 3,82 °C, en relación con las zonas no vegetadas de esta área verde.	0 - 3,82°C	0,78 ha

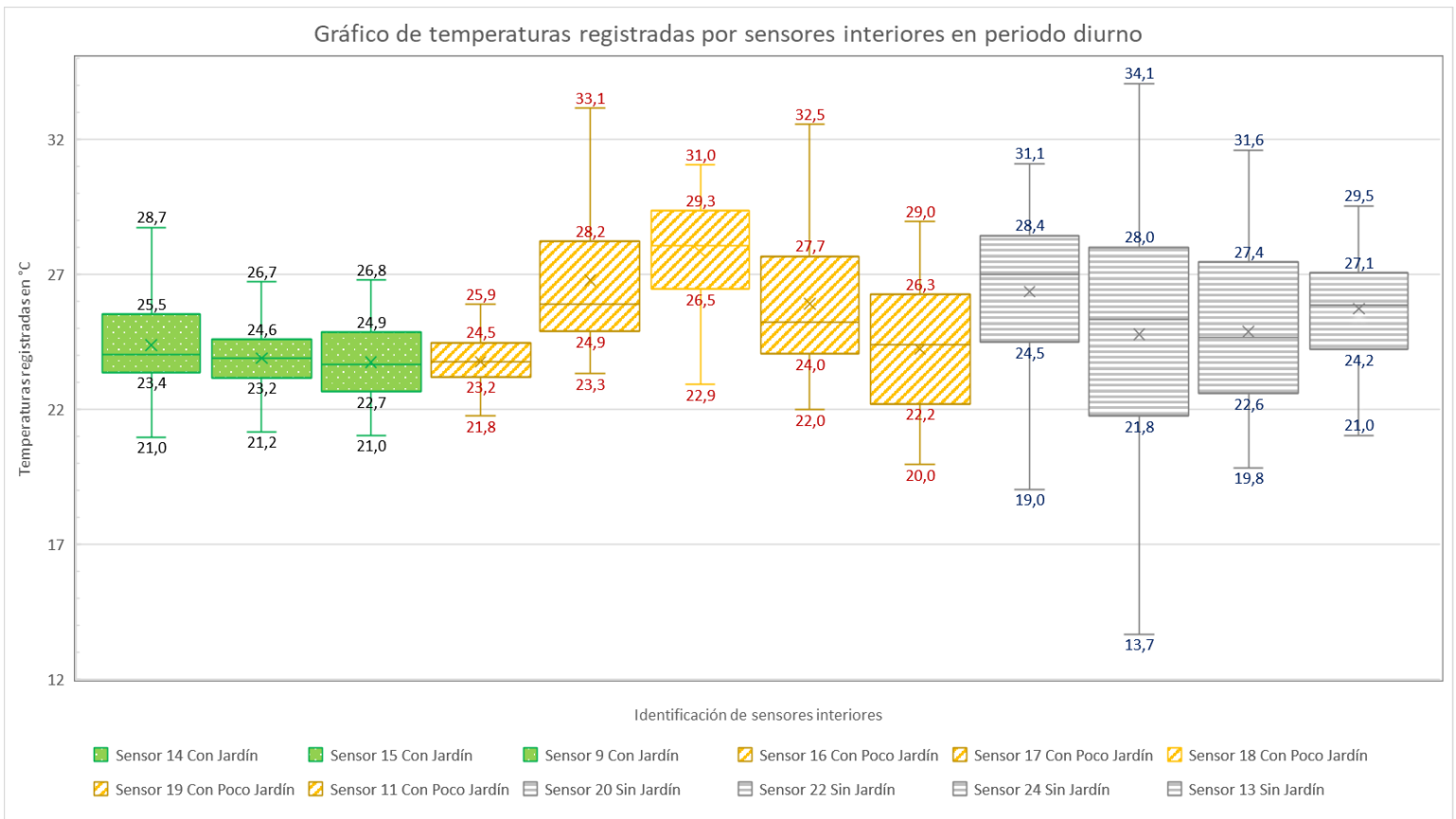
Fuente: elaboración propia

4.2 Cuantificación experimental de diferencias térmicas interiores y exteriores con presencia y sin presencia de jardines interiores.

4.2.1 Temperaturas captadas por sensores interiores en período diurno

Al interior de las viviendas fueron instalados doce sensores, de ellos, tres representan a las viviendas con presencia de jardines, cinco a viviendas que poseen poco jardín y cuatro a viviendas que carecen de la presencia de jardines.

Gráfico 2: Temperatura registradas por sensores interior en periodo diurno



Fuente: elaboración propia

Durante el período diurno, se observa que la presencia de jardines es capaz de reducir la amplitud térmica al interior de viviendas alcanzando los 7,7°C, mientras que al interior de viviendas con poco jardín esta puede alcanzar los 10,5°C y al interior de viviendas sin jardín puede registrar amplitudes de hasta 20,4°C. Este aporte de las áreas verdes en reducir temperaturas se observa también mediante los rangos intercuartílicos, dónde las viviendas con presencia de jardines son capaces de registrar rangos intercuartílicos de 1,9°C, mientras que al interior de las

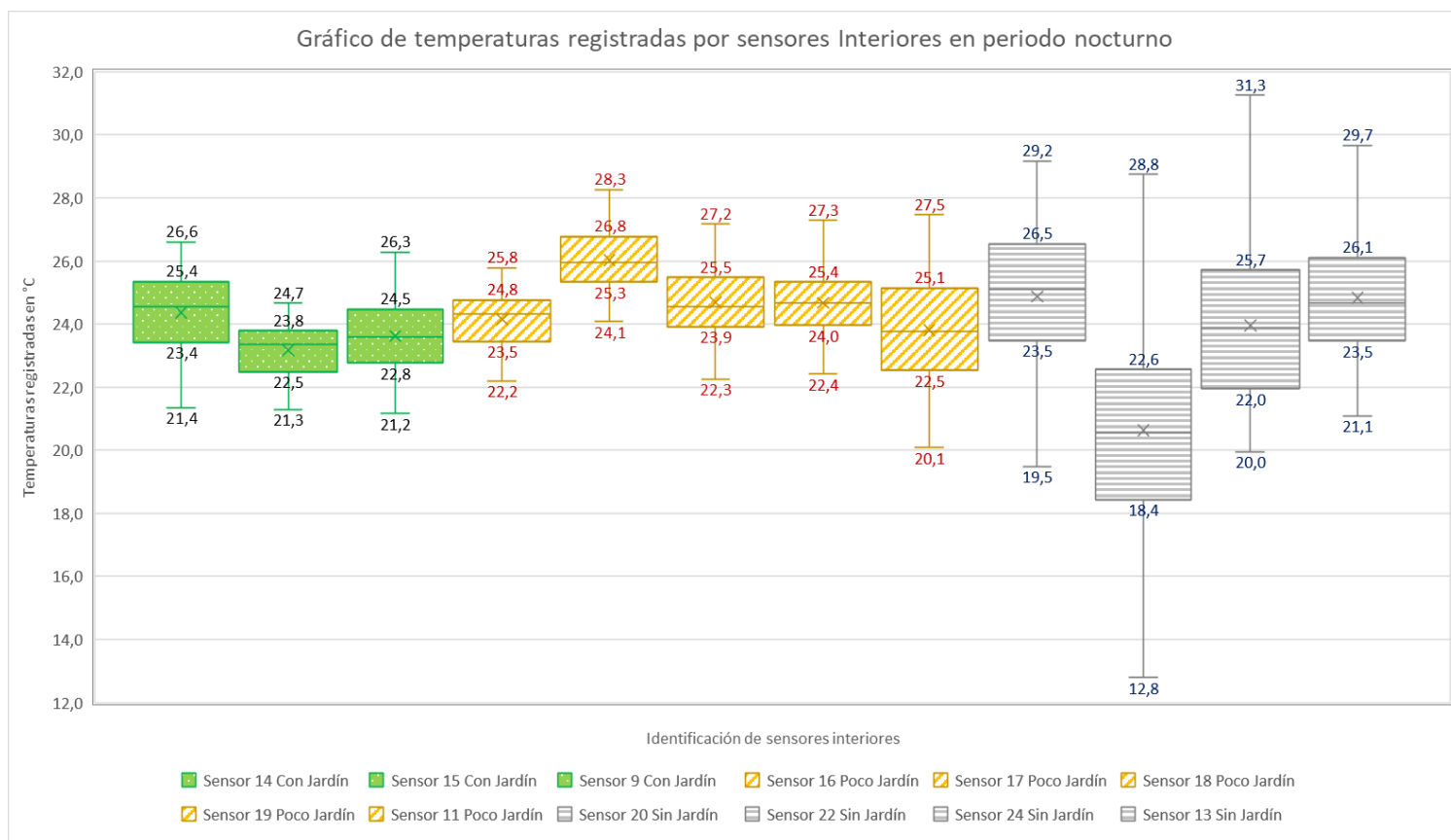
viviendas con poco jardín este puede alcanzar un rango intercuartílico de 3°C y al interior de las viviendas sin jardín este rango puede alcanzar los 4,4°C.

Además, la presencia de jardines permite mantener extremas de temperaturas más atenuadas, dónde al interior de viviendas con presencia de jardín la máxima registrada es 4,4°C menor con relación a la máxima registrada al interior de viviendas con poco jardín (13,2% más baja) y 5,4°C menor con relación al interior de viviendas sin jardín (15,8% más baja).

4.2.2 Temperaturas captadas por sensores interiores en período nocturno

Al interior de las viviendas fueron instalados doce sensores, de ellos, tres representan a las viviendas con presencia de jardines, cinco a viviendas que poseen poco jardín y cuatro a viviendas que carecen de la presencia de jardines.

Gráfico 3: Temperaturas registradas por sensores interior en periodo nocturno



Fuente: Elaboración propia

Durante el período nocturno, se observa que la presencia de jardines es capaz de reducir la amplitud térmica al interior de viviendas alcanzando los 3,4°C, mientras

que al interior de viviendas con poco jardín esta puede alcanzar los 3,6°C y al interior de viviendas sin jardín puede registrar amplitudes de hasta 16°C. Este aporte de las áreas verdes en reducir temperaturas se observa también mediante los rangos intercuartílicos, dónde las viviendas con presencia de jardines son capaces de registrar rangos intercuartílicos de 1,3°C, mientras que al interior de las viviendas con poco jardín este puede alcanzar un rango intercuartílico de 1,3°C y al interior de las viviendas sin jardín este rango puede alcanzar los 4,2°C.

Además, la presencia de jardines permite mantener extremas de temperaturas más bajas, dónde al interior de viviendas con presencia de jardín la máxima registrada es 1,7°C menor con relación a la máxima registrada al interior de viviendas con poco jardín (6% más baja) y 4,7°C menor con relación al interior de viviendas sin jardín (15% más baja).

4.2.3 Temperaturas captadas por sensores exteriores en período diurno

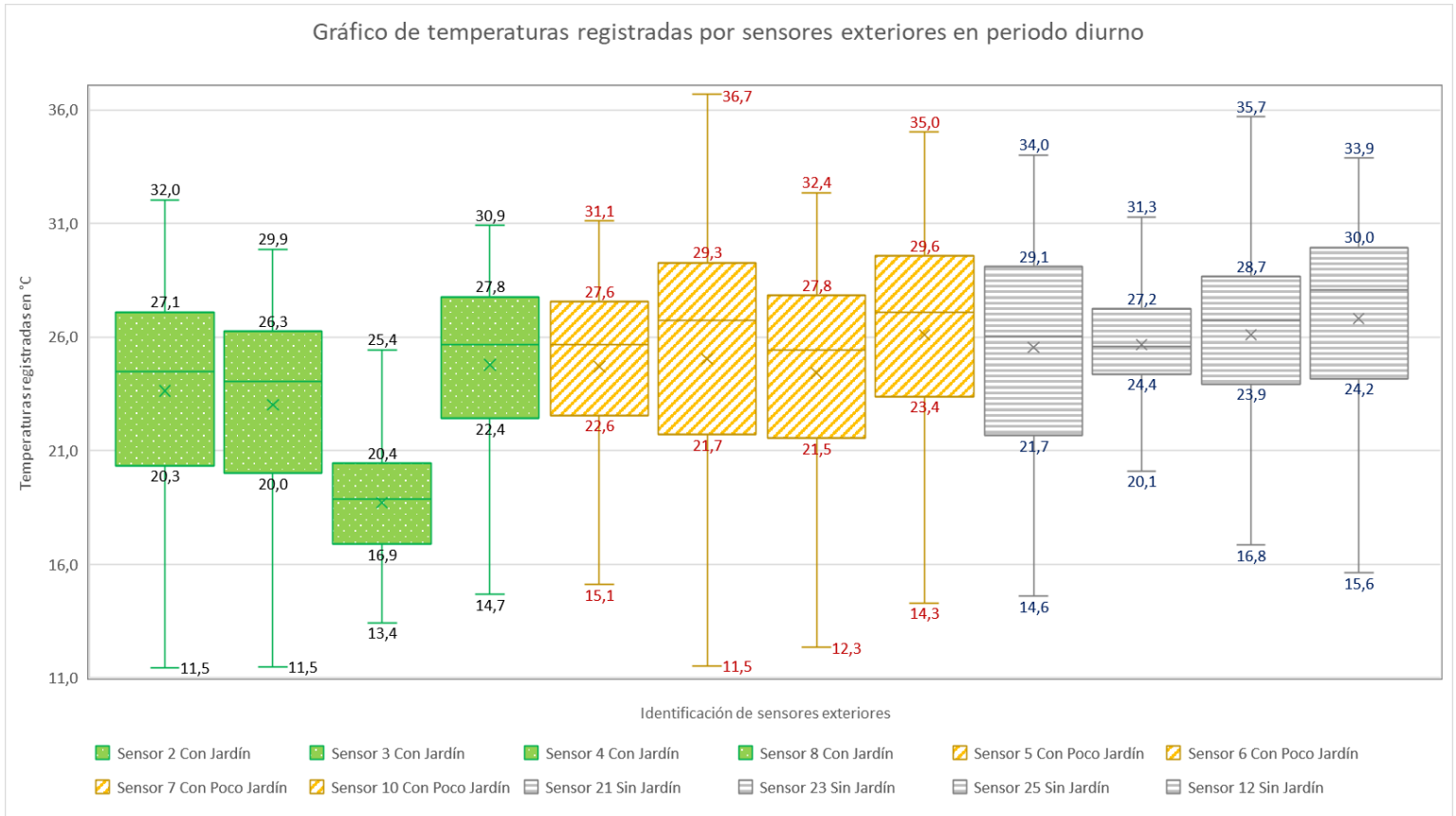
En el exterior de las viviendas fueron instalados doce sensores, de ellos, cuatro representan a las viviendas con presencia de jardines, cuatro a viviendas que poseen poco jardín y cuatro a viviendas que carecen de la presencia de jardines.

Durante el período diurno, se observa que la presencia de jardines es capaz de reducir la amplitud térmica en el exterior de las viviendas alcanzando los 12°C, mientras que en el exterior de viviendas con poco jardín esta puede alcanzar los 16°C y al exterior de viviendas sin jardín puede registrar amplitudes de hasta 19,4°C. Este aporte de las áreas verdes en reducir temperaturas se observa también mediante los rangos intercuartílicos, dónde en el exterior de las viviendas con presencia de jardines son capaces de registrar rangos intercuartílicos de 3,5°C, mientras que en el exterior de las viviendas con poco jardín este puede alcanzar un rango intercuartílico de 5,5°C y en el exterior de las viviendas sin jardín este rango puede alcanzar los 7,4°C.

Además, la presencia de jardines permite mantener extremas de temperaturas más bajas, dónde en el exterior de viviendas con presencia de jardín la máxima

registrada es 4,7°C menor con relación a la máxima registrada al exterior de viviendas con poco jardín (12,8% más baja) y 3,7°C menor con relación al exterior de viviendas sin jardín (10,3% más baja).

Gráfico 4: Temperaturas registradas por sensores exteriores en periodo diurno



Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Temperaturas captadas por sensores exteriores en período nocturno

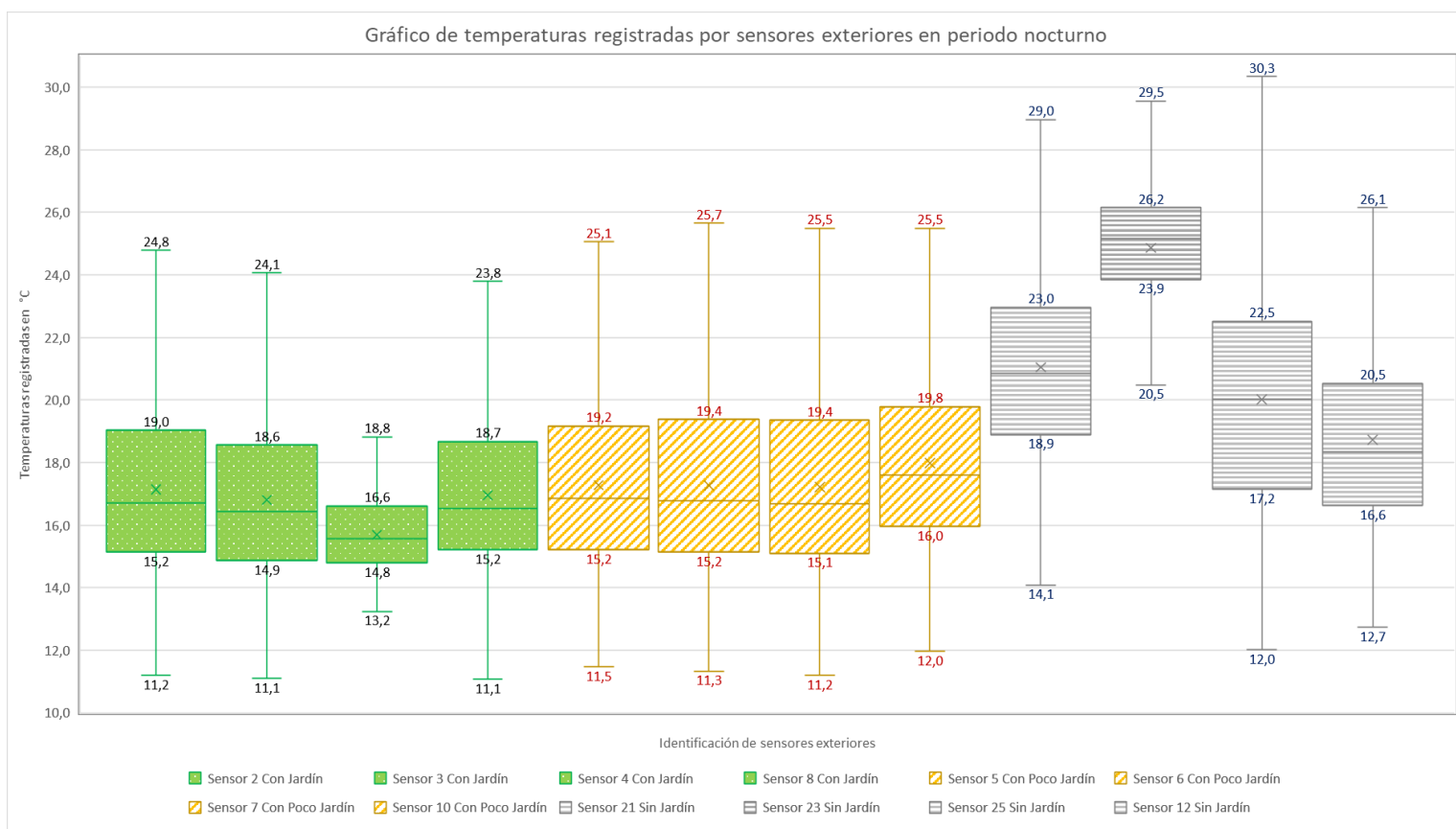
En el exterior de las viviendas fueron instalados doce sensores, de ellos, cuatro representan a las viviendas con presencia de jardines, cuatro a viviendas que poseen poco jardín y cuatro a viviendas que carecen de la presencia de jardines.

Durante el período nocturno, se observa que la presencia de jardines es capaz de reducir la amplitud térmica en el exterior de las viviendas alcanzando los 5,6°C, mientras que en el exterior de viviendas con poco jardín esta puede alcanzar los 13,5°C y al exterior de viviendas sin jardín puede registrar amplitudes de hasta 18,3°C. Este aporte de las áreas verdes en reducir temperaturas se observa también

mediante los rangos intercuartílicos, dónde en el exterior de las viviendas con presencia de jardines se pueden registrar rangos intercuartílicos de 1,8°C, mientras que en el exterior de las viviendas con poco jardín este puede alcanzar un rango intercuartílico de 3,8°C y en el exterior de las viviendas sin jardín este rango puede alcanzar los 8,3°C.

Además, la presencia de jardines permite mantener extremas de temperaturas más bajas, dónde en el exterior de viviendas con presencia de jardín la máxima registrada es 0,9°C menor con relación a la máxima registrada en el exterior de viviendas con poco jardín (3,5% más baja) y 5,5°C menor con relación al exterior de viviendas sin jardín (18,1% más baja).

Gráfico 5: Temperaturas registradas por sensores exteriores en período nocturno



Fuente: Elaboración propia

4.3 Planificación barrial que permite mitigar las islas de calor urbanas y fomentar la influencia de jardines en el interior y exterior de viviendas

La información detallada en el marco teórico de esta investigación, en conjunto con la cuantificación experimental de diferencias térmicas interiores y exteriores de viviendas, permite dirimir orientaciones sobre cómo desarrollar sistemas de planificación a escala barrial que logren mitigar las islas de calor urbanas y fomentar el impacto que los jardines realizan al interior y exterior de viviendas. Lo anterior, se elabora en base a los siguientes aspectos de planificación; a) características térmicas de los materiales, b) distribución de viviendas con relación a jardines y d) cantidad de áreas verdes en relación a viviendas.

4.3.1 Características térmicas de materiales que fomentan la influencia de jardines al interior y exterior de viviendas

Si bien la vegetación posee un rol activo sobre la influencia del desarrollo de temperaturas extremas, otro rol protagónico lo poseen los diferentes elementos y materiales que configuran la construcción de viviendas, considerando que los distintos tipos de materiales pueden ejercer influencias negativas o positivas en el control de extremas térmicas, ya sea en exteriores o en interiores de las mismas viviendas.

Para apoyar el rol de los jardines en las temperaturas, las viviendas deben mantener índices de reflectancia solar bajos, acercándose a los porcentajes de albedo de la arena -20% a 30%-, pasto -20% a 25%- y suelo seco -15% a 25%- (Insunza, sin año), lo que permitiría disminuir el ingreso de energía por radiación neta. Sin embargo, disminuir los índices de reflectancia solar incide directamente en la capacidad que los materiales poseen para controlar la conductividad térmica, capacidad calórica y difusividad térmica, los que, si no son cuidados, impactan directamente en el desarrollo de altas temperaturas al interior de las viviendas.

En el caso de la conductividad térmica, las viviendas deben ser construidas con materiales que posean un bajo índice de conductividad térmica, de lo contrario, al ser expuestos materiales conductores a alta exposición de radiación solar, expresa esa energía en altas temperaturas, que fácilmente ingresan desde los exteriores de las viviendas hacia el interior por conducción. En este papel asoman los aislantes

térmicos , de los cuales se indican como los mejores aislantes sintéticos al poliuretano o polisocianurat y el poliestireno extruido (con una diferencia de rango en el índice de conductividad mínimo y máximo de 0,021 y 0.015 respectivamente), mientras que en los aislantes vegetales, los de mejor rendimiento son el algodón (diferencia de índices mínimos y máximos de 0,011), cáñamo (diferencia de índices mínimos y máximos de 0.008), fibras de coco (diferencia de índices mínimos y máximos de 0.003) y lino -diferencia de índices mínimos y máximos de 0.010- (Jové,2017).

En paralelo, una característica ligada a los aislantes es la capacidad calórica volumétrica, dónde se recomendaría utilizar en infraestructuras habitables, materiales de fachadas que posean valores de alta capacidad calórica volumétrica, con el objetivo de servir como una primera capa protectora del desarrollo de altas temperaturas exteriores, permitiendo que los materiales aislantes (baja capacidad calórica y alta convección de temperaturas) no se expongan de forma directa a las condiciones de exterior de las viviendas, alcanzando las condiciones de confort térmico.

En cuanto a la difusividad térmica si un material posee alta difusividad térmica, la propagación de calor por este es rápida, mientras que, si un material posee baja difusividad térmica, este absorbe calor y sólo una pequeña cantidad lo conduce. Por lo anterior, sumado las características anteriormente mencionadas, se hace necesario considerar materiales de construcción que posean una baja difusividad térmica permitiendo que las condiciones de exterior posean bajo impacto en interiores.

En cuanto a los materiales de fachada y estructurales, el material de mejor rendimiento es el mortero de cemento, sin embargo, mortero de cemento/arena, yeso, concreto celular, tierra muro portante, ladrillos de arcilla y el vidrio plano poseen valores relativamente similares de difusividad térmica. Por parte de otros materiales, los de mejor rendimiento de difusividad son la piedra arenisca y la arcilla, muy distantes a las características de otros materiales como el cobre (González – Cruz, 2004).

La elección correcta de los materiales más aptos en las propiedades de reflectancia, conductividad, capacidad calórica y difusividad térmica, son el mecanismo más efectivo en la configuración de espacios habitables que mitiguen las islas de calor urbanas, aprovechando los avances de la tecnología de los materiales y las disciplinas encargadas en planificación energética habitacional.

Si se centra la atención en los materiales que configuran las estructuras de las viviendas consideradas para la instalación de sensores, se observa que todas las viviendas MINVU y CORVI coinciden casi en la totalidad de materiales utilizados, ya sea de muros, tabiques, cubierta, pavimento, puertas y ventanas. Todos los materiales aludidos pueden señalarse como elementos que no destacan por sus grandes características térmicas para fomentar los aportes de la vegetación en las temperaturas interiores y exteriores de viviendas, dejando las diferencias térmicas como una atribución directa de las condiciones ambientales provistas por la presencia o ausencia de jardines en su interior.

4.3.2 Elementos y distribución de viviendas y jardines que permiten mitigar la ocurrencia de islas de calor urbanas y fomentar la influencia de jardines en el interior y exterior de viviendas.

Como se señaló en el marco teórico de esta investigación, la distribución de jardines o áreas verdes y su cantidad o cobertura, es totalmente proporcional a la influencia que pueden desarrollar en disminuir temperaturas en sus áreas de emplazamiento. Por ello, a la hora de mitigar la ocurrencia de islas de calor urbanas y generar una influencia al interior de viviendas, se debe considerar mecanismos de planificación que permitan garantizar estas características de las áreas verdes, sin dejar de lado la necesidad de estar insertas en los territorios urbanos.

Las áreas verdes son capaces de intervenir en el balance energético de la radiación solar o radiación neta y además proveer servicios ecosistémicos. Para ambos efectos, estas áreas deben estar posicionadas de forma estratégica, con el objetivo de proveer a una zona más extensa su influencia en el balance energético y su provisión de servicios ecosistémicos, ya que, por el contrario, dependen directamente de su extensión lineal, que relaciona su tamaño y extensión directamente con su capacidad de impacto en sus alrededores.

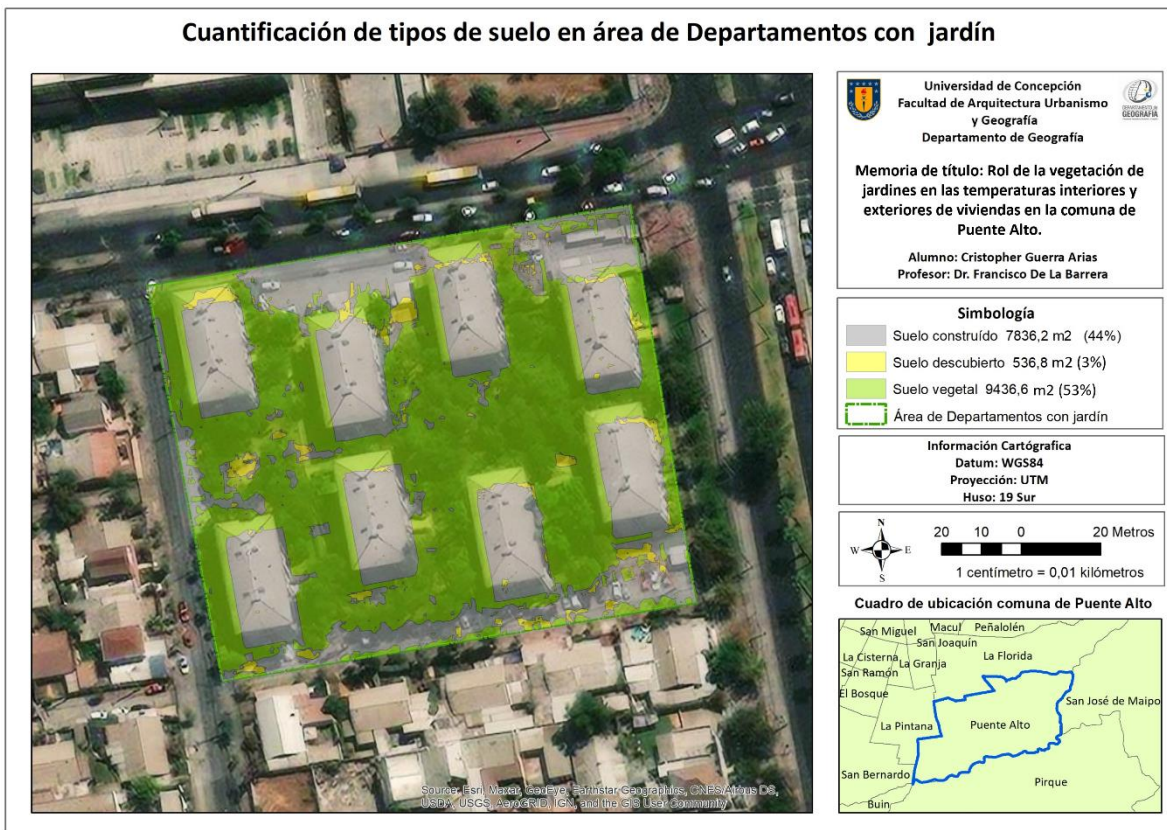
Dentro de las áreas residenciales chilenas las áreas verdes poseen extensiones limitadas, donde incluso en las áreas metropolitanas como la de Santiago el 32,90 % de las áreas verdes urbanas posee una superficie menor o igual a 500 m², el 25,10 % una superficie entre 500 a 1000 m², el 35,10% posee una superficie entre los 1000 y 5000 m² y tan sólo el 7% de estas áreas verdes es mayor o igual a 5000 m² de superficie, además, estas tienen una distribución difusa que hace disminuir la influencia ecosistémica de estas áreas verdes urbanas por estar desconectadas entre sí (Reyes & Figueroa, 2010).

Según el catastro del estado de las áreas verdes de Santiago elaborado por el MINVU del 2020 (disponible en el IDE del observatorio de ciudades UC) de un total de 11.602 infraestructuras verdes el 55,7% son del tipo plaza (6.462 infraestructuras), el 21,6% corresponden al tipo bandejón (2.509 infraestructuras), el 20,4% corresponden al tipo vereda (2.368 infraestructuras), el 1,8% corresponden al tipo parque (206 infraestructuras), el 0,4% corresponden al tipo campo deportivo (49 infraestructuras) y el 0,1% corresponden al tipo av. parque (8 infraestructuras). Considerando los problemas de distribución territorial de las áreas verdes dentro de la ciudad, se observa como una oportunidad que se concentre un 42% del total de áreas verdes entre los tipos de bandejón y vereda, ya que son tipologías cercanas a zonas residenciales y más plausibles de intervenir por su extensión y su presencia en la estructura urbana sin grandes transformaciones en esta misma. Si bien la literatura informa que se necesita una superficie mayor a 10 hectáreas de áreas verdes para cumplir funciones ecológicas (Gámez, 2005), algunos estudios de áreas verdes medianas corroboran la influencia en la disminución de temperaturas, como por ejemplo, los estudios de Vaz Monteiro et al (2016) que señalan descensos de 0,3 °C en parques de extensión de 0,5 a 2 hectáreas y descenso de 0,7 °C en parques de extensión de 3 a 5 hectáreas, mientras que en la categoría de parques pequeños los estudios de Park et al (2017) registran que áreas verdes de 300 m² y 650 m² reducen en 1°C y 2°C la temperatura respectivamente

Considerando lo expuesto anteriormente y la cuantificación experimental de las temperaturas interiores y exteriores en zonas con áreas verdes, pocas áreas verdes

y sin áreas verdes en el área de estudio, se puede proponer valores de distribución de áreas verdes cercanas a viviendas considerando tres posibilidades; a) presencia de áreas verdes, b) poca presencia de áreas verdes y c) sin presencia de áreas verdes, tomando como referencia los resultados obtenidos desde la cuantificación de tipos de suelo en las áreas residenciales, en las cuales se recogieron datos de temperatura interior y exterior. Desde esta relación de cuantificación experimental de temperaturas y la cuantificación de los tipos de suelo donde fueron recogidas las temperaturas, se obtiene la siguiente información:

Cartografía 12: Cuantificación de tipos de suelo en área con presencia de áreas verdes



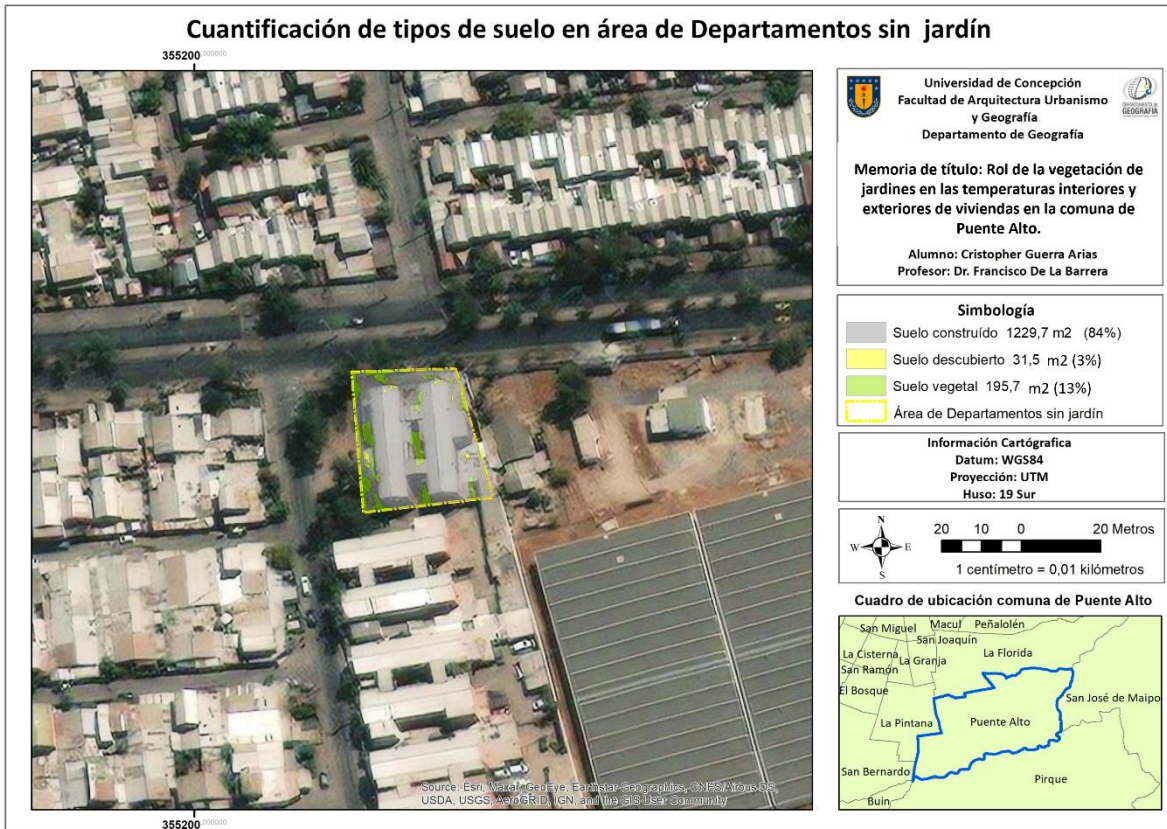
Fuente: Elaboración propia

Cartografía 13: Cuantificación de tipos de suelo en área con poca presencia de áreas verdes



Fuente: Elaboración propia

Cartografía 14: Cuantificación de tipos de suelo en área sin presencia de áreas verdes.



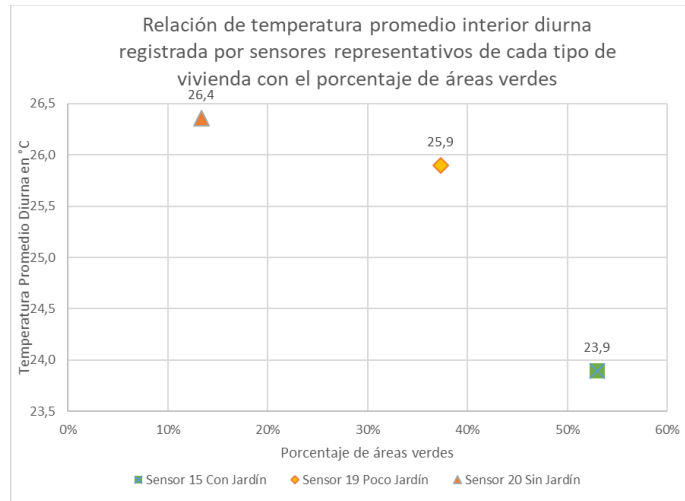
Fuente: Elaboración propia

4.3.2a Relación de temperatura promedio interior diurna y porcentaje de áreas verdes del área de instalación de sensor

Estos tres sensores representativos (sensor 15 de área con jardín, sensor 19 de área con poco jardín y sensor 20 de área sin jardín) muestran que el desarrollo de temperaturas interiores diurnas, están directamente relacionadas al porcentaje de áreas verdes que posee el lugar en donde se instalan los sensores de registro de temperaturas.

En el caso del sensor 15 instalado en el área con jardín, (entre 50% a 60% de áreas verdes) la temperatura es 2° C menor que el sensor 19 instalado en el área con poco jardín (entre 30% a 40% de áreas verdes), diferencia que llega a los 2,5° C al ser contrastado con el sensor 20 instalado en el área sin jardín (entre 10% a 20% de áreas verdes).

Gráfico 6: relación de temperatura promedio interior diurna con el porcentaje de áreas verdes

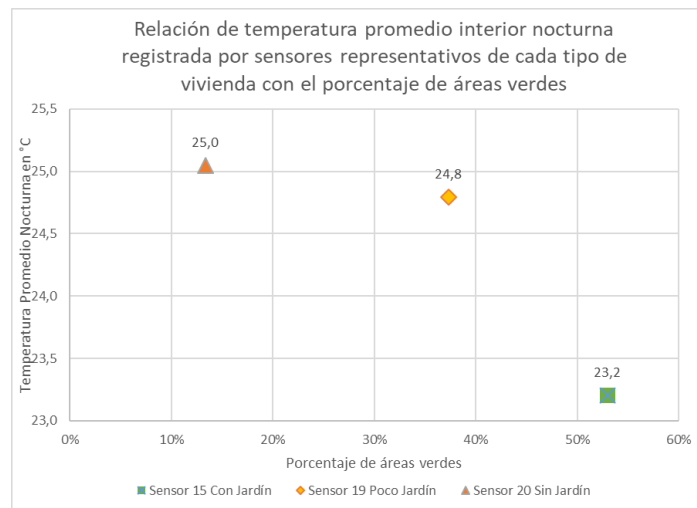


Fuente: Elaboración propia

4.3.2b Relación de temperatura promedio interior nocturna y porcentaje de áreas verdes de área de instalación de sensor.

Los mismos tres sensores representativos -esta vez en período nocturno- muestran que en los registros del sensor 15 instalado en el área con jardín, (entre 50% a 60% de áreas verdes) la temperatura es 1,6° C menor que el sensor 19 instalado en el área con poco jardín (entre 30% a 40% de áreas verdes), diferencia que llega a los 1,8° C al ser contrastado con el sensor 20 instalado en el área sin jardín (entre 10% a 20% de áreas verdes).

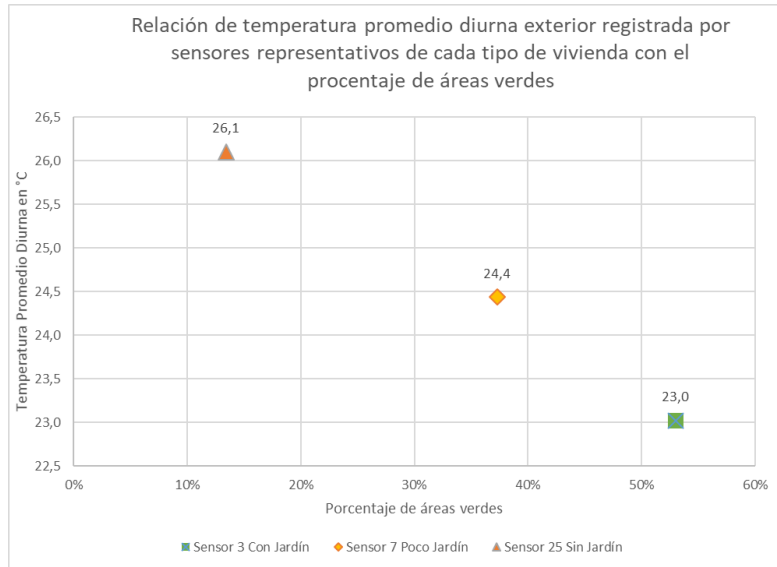
Gráfico 7: relación de temperatura promedio interior nocturna con el porcentaje de áreas verdes



Fuente: Elaboración propia

4.3.2c Relación de temperatura promedio exterior diurna y porcentaje de áreas verdes de área de instalación de sensor.

Gráfico 8: relación de temperatura promedio exterior diurna con el porcentaje de áreas verdes



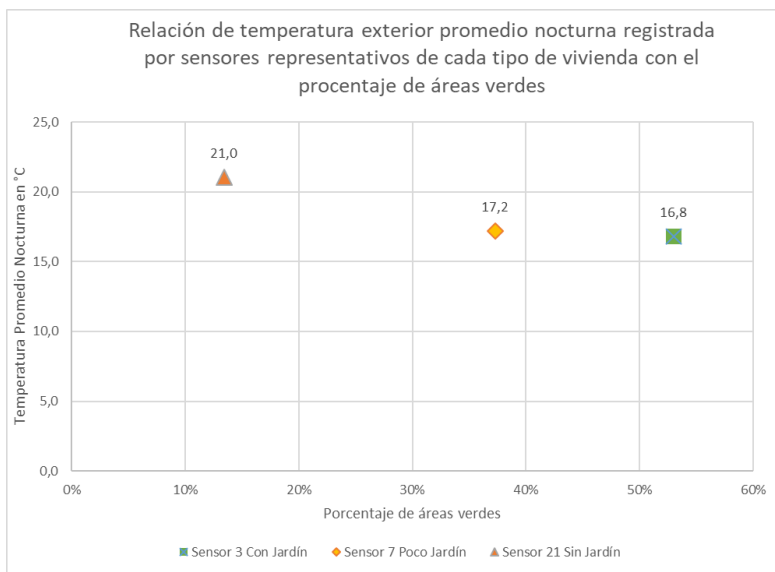
Fuente: Elaboración propia

Estos tres sensores representativos exteriores en período diurno muestran que el sensor 3 instalado en el área con jardín, (entre 50% a 60% de áreas verdes) registra una temperatura de 1,4° C menor que el sensor 7 instalado en el área con poco jardín (entre 30% a 40% de áreas verdes), diferencia que llega a los 3,1° C al ser contrastado con el sensor 25 instalado en el área sin jardín (entre 10% a 20% de áreas verdes).

4.3.2d Relación de temperatura promedio exterior nocturna y porcentaje de áreas verdes de área de instalación de sensor.

Estos sensores exteriores en período nocturno muestran que el sensor 3 del área con jardín, (entre 50% a 60% de áreas verdes) registra una temperatura de 0,4° C menor que el sensor 7 instalado en el área con poco jardín (entre 30% a 40% de áreas verdes), diferencia que llega a los 4,2° C al ser contrastado con el sensor 25 instalado en el área sin jardín (entre 10% a 20% de áreas verdes).

Gráfico 9: relación de temperatura promedio exterior nocturna con el porcentaje de áreas verdes



Fuente: Elaboración propia

5 Discusión

Revisión de la literatura internacional sobre las islas de calor urbanas

La revisión de la literatura internacional muestra que las Islas de Calor Urbanas son un fenómeno que genera diferencias de temperaturas entre las zonas urbanizadas y las áreas rurales, generadas por fenómenos que se expresan continuamente en áreas urbanas, como por ejemplo: el incremento de la absorción de la radiación de onda corta, incremento de radiación de onda larga desde el cielo, descenso en la pérdida de radiación de onda larga, fuentes de calor antropogénico, aumento del almacenamiento de calor sensible, descenso de la evapotranspiración y el descenso de la turbulencia total del aire capaz de transportar el calor. Además, permite identificar que, de los tres tipos de islas de calor, el que mejor representa el fenómeno a nivel urbano – barrial, es la isla de calor de dosel urbano, que se caracteriza por ser aquella masa de aire que se presenta entre la superficie y la altura media de las infraestructuras construidas, es decir dónde la población habita y desarrolla sus actividades cotidianas.

La importancia de estudiar este fenómeno se corrobora con los datos recogidos en esta investigación, los que identifican diferencias de temperaturas (mediante sensores) entre distintos tipos de vivienda debido a la influencia que genera la presencia o ausencia de áreas verdes contiguas a estas, que pueden desarrollar disimilitudes en las temperaturas interiores de hasta 2.5 ° C en las temperaturas extremas (comparadas en viviendas con áreas verdes y sin áreas verdes). Estas diferencias pueden ser identificadas mediante distintas herramientas de cuantificación y registro de temperaturas, dónde la incorporación de sistemas de información geográficos permite precisar la ubicación de islas de calor de dosel urbanos a diferentes escalas territoriales, donde asoman como alternativa el uso de sensores de temperatura como i-button, que vinculan directamente las características locales en el desarrollo de altas o bajas temperaturas.

Si bien las características anteriormente descritas permiten identificar islas de calor, es importante señalar que las islas de calor son parte de un fenómeno multifactorial, que si bien se expresa en las diferencias térmicas que exponen los 3 tipos de

viviendas utilizados en esta investigación, también puede contemplar otro tipo de complejidades, como por ejemplo los impactos negativos en la salud de las personas (fallecimientos por olas de calor), donde paradójicamente, las estructuras que las protegen de las adversidades ambientales (viviendas) se transforman en constructores del riesgo y no en mitigadores. Si las viviendas no poseen estructuralmente elementos con ciertas características que mitiguen los fenómenos físicos de conductividad térmica, capacidad calórica y difusividad térmica, transforman a las viviendas en ambientes similares a los de exteriores, no permitiendo a la población a resguardarse de situaciones térmicas extremas.

Si bien, muchas viviendas carecen de materiales adaptados a estas situaciones térmicas extremas, elementos como las áreas verdes o jardines se presentan como potenciales actores en la reducción de temperaturas extremas, ya sea al interior de viviendas o en el exterior de estas, lo que queda expuesto al observar las diferencias de temperaturas entre las viviendas con presencia de jardines, con poca presencia de jardines y sin presencia de jardines, dónde siempre se registraron menores temperaturas (y amplitudes térmicas) en las viviendas con presencia de jardín y las mayores temperaturas máximas (y amplitudes térmicas) en aquellas viviendas que no poseen jardines.

Lo anterior se explica por la capacidad de las áreas verdes en regular la temperatura mediante la alteración del balance energético de la radiación solar, la captación de gases contaminantes, la reducción y modificación del flujo de vientos, la humidificación de los vientos por el efecto sombra y el contacto con la humedad del suelo vegetal, donde todas las características anteriores permiten explicar que la presencia de áreas verdes reduce las temperaturas en áreas urbanas y que estas reducciones se relacionan directamente a su extensión, densidad de especies y tamaño.

Cuantificación experimental de diferencias térmicas interiores y exteriores

Recogiendo la información obtenida desde los sensores instalados en las diferentes zonas representativas (con jardín, con poco jardín y sin jardín), salvo escasas

excepciones, se comprueba la hipótesis de que la presencia de áreas verdes contribuye en el descenso de las temperaturas interiores y exteriores de las viviendas.

En el caso de las diferencias térmicas en interiores, se observa que en período diurno al interior de las viviendas con jardín las temperaturas máximas tienen una diferencia de $4,4^{\circ}$ (temperaturas un 13,2% más bajas) con aquellas viviendas que poseen poco jardín, diferencia que puede alcanzar los $5,4^{\circ}$ (temperaturas un 15,8% más bajas) respecto de las temperaturas máximas interiores diurnas de aquellas viviendas que no poseen jardín. En el caso de las diferencias térmicas de interiores en período nocturno, se aprecia que al interior de las viviendas con jardín las temperaturas máximas tienen una diferencia de $1,7^{\circ}$ (temperaturas un 4,8% más bajas) con aquellas viviendas que poseen poco jardín, diferencia que puede alcanzar los $4,7^{\circ}$ (temperaturas un 15,01% más bajas) respecto de las temperaturas máximas interiores nocturnas de aquellas viviendas que no poseen jardín.

Para el caso de las diferencias térmicas en exteriores se observa que en período diurno las temperaturas máximas tienen una diferencia de $4,7^{\circ}$ (temperaturas un 12,8% más bajas) con aquellas zonas exteriores que poseen poco jardín, diferencia que puede alcanzar los $3,7^{\circ}$ (temperaturas un 10,3% más bajas) respecto de las temperaturas máximas exteriores diurnas de aquellas áreas que no poseen jardín. En el caso de las diferencias térmicas de exteriores en período nocturno, se aprecia que en las zonas exteriores de las viviendas con jardín las temperaturas máximas tienen una diferencia de $0,9^{\circ}$ (temperaturas un 3,5% más bajas) con aquellas áreas exteriores de viviendas que poseen poco jardín, diferencia que puede alcanzar los $5,5^{\circ}$ (temperaturas un 18,1% más bajas) respecto de las temperaturas máximas exteriores nocturnas de aquellas áreas de viviendas que no poseen jardín.

Lo anterior puede relacionarse directamente a la cantidad de áreas verdes presentes en ambos tipos de departamentos, donde en el área de departamentos con jardín el suelo vegetal alcanza un total de 9.436,6 metros cuadrados (53% de la superficie total del área de viviendas), mientras que en el área de departamentos con poco jardín el suelo vegetal alcanza un total de 3.370,4 metros cuadrados

(37,3% de la superficie total del área de viviendas), lo que genera diferencias notables en los registros de temperaturas entre ambos tipos de áreas de departamentos, ya sea en el interior o exterior de viviendas..

Los diversos estudios que relacionan la superficie de áreas verdes con la disminución de las temperaturas en relación a otras áreas urbanas (mencionados en este trabajo), coinciden en que las áreas verdes de una superficie de 300 metros cuadrados, ya son suficientes para hacer descender la temperatura entre 0°C a 1°C (Park et al, 2017), mientras que áreas verdes superiores a 100 hectáreas pueden desarrollar disminuciones de entre 1,1°C y 4°C (Doick et al, 2014), y entre 0°C y los 1,9°C (Hamada & Ohta, 2010) en relación a otras áreas de las ciudades, distintas a superficies de áreas verdes.

Lo anterior se vincula directamente a lo que el marco teórico de esta investigación señala sobre el papel de las áreas verdes en el microclima urbano y la mitigación del fenómeno de las islas de calor urbanas, principalmente desde el rol que las áreas verdes ejercen a través de la provisión de servicios ecosistémicos, que se caracterizan bajo el marco de los servicios de regulación, ya sea en la regulación del clima, regulación de la calidad del aire y la regulación del agua (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Si bien los registros de temperatura captados por los sensores evidencian esta influencia que las áreas verdes ejercen sobre las viviendas, se puede deducir que esta misma influencia es directamente proporcional al perfil vertical de alturas en que se emplazan estas viviendas, ya que a mayor distancia del plano (cobertura vegetal) se puede inferir que la influencia de las áreas verdes en mitigar altas temperaturas puede disminuir. Esto podría ser corroborado en una próxima investigación que considere una comparativa en base al perfil vertical de las viviendas en función de la presencia de áreas verdes en su entorno cercano o interior, donde los sensores sean instalados en todos los pisos de los tipos de viviendas (casas o departamentos), cuidando además de que estas mismas viviendas se encuentren bajo la misma exposición solar y ventilación (orientación), permitiendo graduar la posible variación térmica generada por la variabilidad de la

isla de calor de dosel en base a la distancia vertical de las áreas verdes con los límites de la isla de calor urbana en función de la altura en que esta sigue ejerciendo influencia en aumentar las temperaturas.

A la variabilidad de la información del perfil vertical de las temperaturas detallada anteriormente, se puede considerar además la posibilidad de replicar la metodología de instalación de sensores en períodos de otra caracterización climática, es decir, a replicarla en otras épocas del año distintas al verano. Con lo anterior, se podría construir series históricas de datos que grafiquen la mitigación de altas temperaturas durante todo el año -por efecto de las áreas verdes-, e identificar el comportamiento térmico de las viviendas en estudio durante períodos anuales y no estacionarios, sirviendo esta información en la configuración de perfiles de riesgo de la población que habita estos espacios durante episodios de temperaturas extremas.

Planificación barrial que permite mitigar las islas de calor urbanas y fomentar la influencia de jardines en el interior y exterior de viviendas

Los resultados de esta investigación exponen la influencia directa de la extensión de las áreas verdes en su capacidad de reducir las temperaturas en zonas urbanas, esto plantea un desafío sobre como diseñar la proporcionalidad entre suelo construido (viviendas o servicios) y áreas verdes que posean las características mínimas de extensión que les permitan mitigar el desarrollo de islas de calor urbanas, capacidad que va estrechamente proporcional a las características climáticas de las diferentes zonas urbanas, que son capaces de antagonizar los posibles impactos de las áreas verdes en la configuración de microclimas urbanos resilientes a la isla de calor urbana.

Si se considera una clasificación de zonas climáticas urbanas , diríamos que las zonas con mayor rugosidad (densidad de estructuras urbanas, tales como edificios, torres, etc.) mayor es el porcentaje de permeabilidad, es decir, su capacidad de impactar en el microclima urbano y la proliferación de islas de calor, por el contrario, aquellas zonas con infraestructuras más dispersas y de paisajes abiertos (áreas de baja densidad urbana y mixta con infraestructura de servicios, como zonas rurales,

industriales, aeropuertos, etc.) poseen una menor capacidad de impactar en el microclima urbano (Oke, 2004).

El ideal de una configuración urbana de baja permeabilidad, que no pierde su densidad de infraestructuras y no impacta severamente el microclima urbano, es un área urbana que posea construcciones de 1 o 2 plantas, con una rugosidad que permite la existencia de áreas verdes y zonas habitadas de proporciones y materialidad que no permiten incidir en el balance energético del microclima urbano. Sin embargo, la infraestructura construida a nivel individual o en grandes cantidades (barrios) debe aportar a no incrementar esta permeabilidad e impacto a través del uso de ciertos materiales que permiten disminuir su incidencia en el balance energético, de lo contrario estos pueden almacenar y conducir una gran cantidad de calor a insolación directa (Sarricolea & Romero, 2010).

Los materiales que mejor podrían acompañar la construcción de infraestructuras de rugosidad media (cohabitando con áreas verdes distribuyendo la densidad de infraestructuras), según los índices de reflectancia solar, índice de conductividad, densidad y capacidad calórica volumétrica y difusividad térmica, son los revestimientos de acrílico rulato – travertino grueso (Alchapar, 2015), techos de cerámica natural colonial terracota (Alchapar, 2015), aislantes de poliuretano – polisocanurat (Jové, 2017), y fachadas de piedra caliza (Lira & Guevara, 2017). Estos materiales con grandes capacidades térmicas no están presentes en las viviendas utilizadas en esta investigación, permitiendo inferir que las diferencias térmicas entre los tres tipos de viviendas se deben directamente a la relación con la presencia de sus respectivos jardines o áreas verdes.

Esta armonía entre la infraestructura construida y las áreas verdes queda demostrada en la relación de temperatura promedio y su porcentaje de áreas verdes, dónde las temperaturas diurnas interiores en viviendas con áreas verdes (entre 50% a 60% de suelo vegetal) son 2°C menores que en aquellas viviendas con poca área verdes (entre 30% a 40% de suelo vegetal) y 2,5° C menores que en aquellas viviendas sin jardín (entre 10% a 20% de suelo vegetal). Esto quiere decir que la proporción de cobertura vegetal cercana a las viviendas y sus temperaturas

interiores están positivamente relacionadas en cuanto a la disminución de las temperaturas máximas, y por ello, un tema a considerar en cuanto a la forma de integrar las áreas verdes en la trama urbana.

Si bien podemos plantear en la planificación territorial relaciones de proporción entre las áreas verdes y las infraestructuras construidas en base a normativas, en Chile el escenario es lejano, pues es difícil unificar una conceptualización que identifique que tipo de suelo es o no es un área verde, por lo tanto mucho menos clara es la capacidad de normar un estándar único de cobertura que se integre a la trama urbana, siendo los únicos acercamientos a lo anterior el indicador mínimo de áreas verdes por habitante de la OMS ($9/m^2/hab.$), indicador que en el caso de Chile está muy por debajo señalando un déficit severo (De La Barrera, 2014) a nivel país del acceso y/o cantidad de áreas verdes a nivel nacional a pesar del potencial integrador de distintas unidades territoriales como barrios o comunas (Ramos, sin año), de su potencial como activo contra la polución del aire (Yang, *et Al*, 2005), de su capacidad integradora como medio de sociabilización (Vargas – Hernandez, *et Al*, 2017), de mejora de la salud mental (Abkar *et Al*, 2010) y el aporte directo en la mitigación de futuros episodios extremos de olas de calor.

Pareciera que el primer paso para desarrollar instrumentos normativos que permitan avanzar en una planificación barrial que integre las áreas verdes, debe ser definir las diferentes tipologías de áreas verdes que son parte de las diferentes escalas territoriales del país (Reyes & De la Barrera, 2019), una vez identificadas las diferentes topologías de áreas verdes, poder acotar aquellas que están dentro de la escala que se ajusta a la realidad urbana de las zonas habitadas, dónde se pueden encontrar ámbitos ecológicos de transición y urbanos con unidades verdes de magnitudes territoriales que pueden ir desde una décima parte de hectárea (plazas o plazoletas vecinales) a mayores de 20 hectáreas (cinturón recreacional) que se insertan dentro de la trama urbana (Bastén, 2005).

Posterior a la identificación del marco normativo de las áreas verdes estas podrían ser vinculadas a normativas de construcción y desarrollo habitacional vinculantes, que tenga en consideración los parámetros de rugosidad de infraestructuras

construidas, la utilización de materiales de construcción que posean los mejores coeficientes , el porcentaje de áreas verdes y su extensión (respecto del suelo construido) y la disposición de ambos a sacar provecho a las condiciones que favorezcan la mitigación de las islas de calor urbanas mencionadas anteriormente en esta investigación y pudieran ser aplicados en futuros proyectos de desarrollo urbano.

En cuanto a las áreas urbanas ya desarrolladas sin consideración de la importancia de la materialidad y su variabilidad en la eficiencia de mitigar la configuración de islas de calor urbanas y la accesibilidad a los servicios que proveen las áreas verdes, el camino es apoyar mediante a los proyectos de mejoramiento progresivos, que permitan actualizar las características materiales de los inmuebles y adaptar soluciones novedosas a la escasez de áreas verdes, como el aprovechamiento de bandejones en avenidas para mantener espacios verdes, cerros islas, huertas comunitarias, muros verdes, etc.

6 Conclusiones

Las islas de calor urbanas pasan desapercibidas como un fenómeno multifactorial en donde las actividades humanas cotidianas poseen un papel protagónico, de estos, se pueden destacar aquellos ligados al desarrollo de espacios construidos que facilitan la ocurrencia de islas de calor, al utilizar materiales que no están adaptados a la nueva dinámica térmica urbana por efectos del cambio climático, que genera episodios más comunes de temperaturas extremas y olas de calor. Fenómenos físicos son desarrollados por estos mismos materiales, repercutiendo incluso al interior de viviendas, generando temperaturas interiores que exponen a la población a altas temperaturas, que más allá de vulnerar el confort térmico son potenciales riesgos para la salud.

Sin embargo, asoman con un rol fundamental las áreas verdes y jardines de viviendas en la reducción de las temperaturas al interior y al exterior de los espacios habitables, que a través de sus múltiples servicios ecosistémicos permiten reducir notablemente las temperaturas, reducciones que están directamente ligadas a su presencia y proporción de jardines en las áreas de viviendas. En interiores la reducción de temperaturas en las áreas de viviendas con jardín en período diurno puede ser un 13,2% con relación a las viviendas con poco jardín, y un 15,8 % más bajas en contraste con las áreas sin jardín. En cuanto a exteriores la reducción de temperaturas en las áreas de viviendas con jardín en período diurno desciende un 12,8% con relación a las viviendas con poco jardín, y un 10,3 % más bajas en contraste con las áreas exteriores sin jardín. Esta característica la posiciona con un rol determinante en el contexto de desarrollo del fenómeno de islas de calor urbanas.

En simple, a mayor cantidad de jardines, mayor es la reducción de las temperaturas al interior y exterior de las viviendas, pero lamentablemente, las zonas habitadas que carecen de jardines y áreas verdes en sus extensiones y además no poseen una correcta conjunción de materiales de construcción térmicamente adaptados las transforman en viviendas incomodas de habitar en episodios de extremas de calor, e incluso en posibles factores de riesgo para la salud.

Los hallazgos revelan que independiente de los variados tamaños, proporciones o extensiones de las áreas verdes, por muy pequeñas que parezcan, siempre influyen en la reducción de temperaturas en las áreas cercanas, asignándoles propiedades extras a las que comúnmente nos hacen acercarnos a estas mismas, como la recreación, bienestar, etc. Esto revaloriza la figura del jardín o el área verde más allá de posibles clasificaciones por tamaño o extensión, ya que el sólo hecho de presencia ya le otorga un valor relevante por su rol en la reducción de temperaturas.

Es evidente que los escenarios futuros del cambio climático nos exigirán plantear una comunión entre los espacios habitables y las áreas verdes, como efectivos agentes de mitigación de temperaturas extremas, sin embargo, en países como Chile, se carece de normativas que en primera instancia definan lo que puede ser considerado o tipificado como áreas verdes, y en segunda instancia, carece de planificación territorial que asegure una comunión entre los espacios habitados y las áreas verdes o jardines. Si no existe institucionalidad ni políticas públicas que se orienten en ocuparse de esta necesidad integradora, se pierde una oportunidad valiosa de preparar a la población y los centros urbanos a los nuevos escenarios que plantea el cambio climático hacia el futuro.

Teniendo en cuenta los aspectos señalados anteriormente, considero que es momento de reconsiderarnos como un ente altamente culpable del desarrollo de las Islas de Calor Urbanas, a través de la construcción de urbes mal adaptadas térmicamente, mediante la negación a la proporción de suelos construidos versus áreas verdes de calidad, y por no ser capaces de formalizar en el corto plazo mecanismos que permitan integrar en la vida urbana la necesidad de convivir en espacios que garanticen viviendas de calidad con espacios que provean diversos servicios multisistémicos.

La invitación es a plantearnos como ente activo en la vida urbana, a revalorizar nuestros jardines y espacios verdes (aún ante la falta de políticas y planes) y acercarlos de las formas que sean posibles en nuestras viviendas y áreas urbanas, pues de esto depende la posibilidad de una mejor calidad de vida al alcance de nuestra mano.

7 Bibliografía

- Aguirre, B., & Rabí, S. (diciembre, 2009). La trayectoria espacial de la Corporación de la Vivienda (CORVI). *Diseño Urbano y Paisaje*, 6(18), 2009.
https://dup.ucentral.cl/pdf/18_trayectoria_espacial_b.pdf
- Alchapar, N. L., Correa, E. N., & Cantón, M. A. (2012). Índice de reflectancia solar de revestimientos verticales: potencial para la mitigación de la isla de calor urbana. *Ambiente construido*, 12, 107-123. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000300008>
- Ali-Toudert, F., & Mayer, H. (febrero 2006). Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and environment*, 41(2), 94-108.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.013>
- Aram, F., García, E. H., Solgi, E., & Mansournia, S. (abril, 2019). Urban green space cooling effect in cities. *Heliyon*, 5 (pp.18). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01339>
- Arcas- Abella, J., Pagès-Ramón, A., y Casals-Tres, M. (agosto, 2011). El futuro del hábitat: repensando la habitabilidad desde la sostenibilidad. El caso español. *Revista INVI*, 72 (26), 65-93.
- Arnfield, A. J. (enero,2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology: a Journal of the Royal Meteorological Society*, 23(1), 1-26.
<https://doi.org/10.1002/joc.859>
- Assessment, M. E. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Banco Mundial (14 de enero de 2024). *Desarrollo Urbano, panorama general*.
<https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview>
- Banco Mundial (19 de diciembre de 2023) *Población urbana. Estimaciones de personal del Banco Mundial sobre la base de las perspectivas de la urbanización mundial de las Naciones Unidas*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL>
- Barker T., I. Bashmakov, L. Bernstein, J. E. Bogner, P. R. Bosch, R. Dave, O. R. Davidson, B. S. Fisher, S. Gupta, K. Halsnæs, G.J. Heij, S.Kahn Ribeiro, S. Kobayashi, M. D. Levine, D. L. Martino, O. Maser, B. Metz, L. A. Meyer, G.-J. Nabuurs, A. Najam, N. Nakicenovic, H. - H.Rogner, J. Roy, J. Sathaye, R. Schock, P. Shukla, R. E. H. Sims, P. Smith, D. A. Tirpak, D. Urge-Vorsatz, D. Zhou (2007). Resumen Técnico. En Cambio Climático 2007: Mitigación. Contribución del Grupo de Trabajo III al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- Barron, D. A. (2015). *Áreas verdes públicas lineales y su aporte a la integración social en Santiago de Chile*. (Memoria de título). Facultad de Ciencias Agronómicas, Escuela de Pregrado, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

- Bastén, V. G. (septiembre, 2005). *Sobre sistemas, tipologías y estándares de áreas verdes en el planeamiento urbano*. DU & P: revista de diseño urbano y paisaje, 2(6), 2. <https://dup.ucentral.cl/pdf/000002.pdf>
- Bertram, C., & Rehdanz, K. (diciembre 2015). The role of urban green space for human well-being. *Ecological Economics*, 120, 139-152. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.10.013>
- Bustamante Oleart, C. (2015). *La morfología urbana y su relación con el uso estancial del espacio público abierto en territorios con vientos fuertes y climas fríos. El caso de la ciudad de Punta Arenas, Región de Magallanes, Chile*. (Tesis Doctoral). Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Bustamante, W., Bobadilla, A., Navarrete, B., Saelzer, G., & Vidal, S. (diciembre, 2005). Uso eficiente de la energía en edificios habitacionales. Mejoramiento térmico de muros de albañilería de ladrillos cerámicos. El caso de Chile. *Revista de la Construcción*, 4(2), 5-12. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127619745001>
- Bustamante, W., Rozas, Y., Cepeda, R., Encinas, F., y Martínez, P. (2009). Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social. En Ministerio de Vivienda y Urbanismo. División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional (minvu) y Programa País de Eficiencia Energética (cne) (eds), Monografías y ensayos. II Tecnología de la construcción (pp. 57)
- Camacho Valdéz, V., & Ruiz Luna, A. (julio 2011). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Revista Bio Ciencias*. 10-11. <https://doi.org/10.15741/revbio.01.04.02>
- Centro de Desarrollo urbano Sostenible (19 de diciembre del 2023) *Indicadores Área Metropolitana de Santiago*. <http://indicadores.cedeus.cl/ciudad/1>
- Centro U.C. de Políticas Públicas (2019) *Desafíos en la accesibilidad a áreas verdes en la ciudad y posibles vías de solución, en el marco de la ley de aportes*. https://politicaspUBLICAS.uc.cl/content/uploads/2019/02/2019.03.04_REPORTE-DEL-ESTUDIO-AREAS-VERDES_final-3.pdf
- Cordero Ordóñez, A. X. (2014). *Microclima y confort térmico urbano: análisis sobre la influencia de la morfología del cañón urbano caso de estudio en los barrios el Raval y Gracia, Barcelona* (Tesis de Master) Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- Costas, M. (2017). 1010/1020: *El espacio público entre el bloque y la ciudad*. (Tesis de pregrado) Escuela de Arquitectura, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.
- Costas, M., & Torrent, H. (julio, 2018). Patrimonio Moderno y Proyecto Urbano: Los Colectivos 1010/1020 y los desafíos de su conservación. *Arteoficio*, 14, 12-17. <https://www.revistas.usach.cl/ojs/index.php/arteficio/article/view/3743/26003012>
- Cruz, E. G. (enero, 2004) Selección de materiales en la concepción arquitectónica bioclimática. *Artigo. Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad del Zulia*. Maracaibo, Venezuela.

- Cubillos, R. (octubre,2017). Principios para el diseño de vivienda social resiliente frente al cambio climático. En Molar, M. E. y Rouz, R. S.(eds.), *Los retos en la vivienda del siglo XXI*. (pp. 26-39). Universidad Autónoma de Coahuila
- De la Barrera, F. & Reyes-Paecke (2021). Green infrastructure to mitigate extreme temperatures in cities. En Palme, M., & Salvati, A. (eds.). *Urban Microclimate Modelling for Comfort and Energy Studies* (pp. 403-418). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-65421-4>
- De la Barrera, F. (19 de diciembre de 2023). *Nueve metros cuadrados por habitante*. Blog en CEDEUS. <https://www.cedeus.cl/blog/2014/12/29/nueve-metros-cuadrados-por-habitante/#:~:text=Popularmente%20conocido%20es%20el%20indicador,nueve%20metros%20cuadrados%20por%20habitante>.
- Demiddel, S. F., & Pérez Bustamante, L. (noviembre, 2009). Más que una suma de casas: la Unidad Vecinal Villa San Pedro de Coronel. *Revista INVI*, 24(67), 127-152. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-83582009000300005>
- Departamento de Geofísica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile (2017) *Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI*, 6.
- Doick, K. J., Peace, A., & Hutchings, T. R. (septiembre,2014). The role of one large greenspace in mitigating London's nocturnal urban heat island. *Science of the total environment*, 493, 662-671. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.048>
- Filippi, F. (2016). *Cambio climático y desarrollo: el proceso de convergencia de las dos agendas internacionales a la luz de los resultados de la COP 21 y de la agenda de desarrollo post - 2015*, 6, 57- 72.
- Gaitani, N., Spanou, A., Saliari, M., Synnefa, A., Vassilakopoulou, K., Papadopoulou, K., ... & Lagoudaki, A. (febrero,2011). Improving the microclimate in urban areas: a case study in the centre of Athens. *Building Services Engineering Research and Technology*, 32(1), 53-71. <https://doi.org/10.1177/0143624410394518>
- Gál, T., Lindberg, F., & Unger, J. (enero, 2009). Computing continuous sky view factors using 3D urban raster and vector databases: comparison and application to urban climate. *Theoretical and applied climatology*, 95, 111-123. <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0362-9>
- Garreaud, R. (2011). Cambio climático: Bases físicas e impactos en Chile. *Revista Tierra Adentro - INIA*, 93, 1-2.
- Gartland, L. (2008). *Heat islands: understanding and mitigating heat in urban areas* (pp. 1-2). Earthscan
- Gertosio Swanston, R. E. ., & Lira, F. P. . (junio,2022). Suelo permeable y vegetación continua en los conjuntos habitacionales modernos: análisis de tres casos en el sector sur de Santiago de Chile. *URBE. Arquitectura, Ciudad Y Territorio*, (14), 55-76. <https://doi.org/10.29393/UR14-4SERF20004>
- Gobierno Regional Metropolitano de Santiago (2014) *Política Regional de Áreas Verdes*. https://www.gobiernosantiago.cl/wp-content/uploads/2014/doc/estrategia/Politica_Regional_de_Areas_Verdes,_2014.pdf

- Grujic, J. (2011). *Funcionalidades de la vegetación en el metabolismo de edificio*. (Tesina final de Master). UPC - Departamento de Construcciones Arquitectónicas.
- Hamada, S., & Ohta, T. (2010). Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. *Urban forestry & urban greening*, 9(1), 15-24. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.10.002>
- Heaviside, C., Vardoulakis, S., & Cai, X. M. (marzo, 2016). Attribution of mortality to the urban heat island during heatwaves in the West Midlands, UK. *Environmental health*, 15, 49-59. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0100-9>
- Hidalgo Dattwyler, R. (mayo, 2007). ¿ Se acabó el suelo en la gran ciudad?: Las nuevas periferias metropolitanas de la vivienda social en Santiago de Chile. *Eure* (Santiago), 33(98), 57-75. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612007000100004>
- Ignatius, M., Wong, N. H., & Jusuf, S. K. (diciembre,2015). Urban microclimate analysis with consideration of local ambient temperature, external heat gain, urban ventilation, and outdoor thermal comfort in the tropics. *Sustainable Cities and Society*, 19, 121-135. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.07.016>
- Insunza, J. C. (s.f.) Radiación solar y terrestre. *Ciencias Integradas*
- Inzunza, J. (2005) Capítulo 15 Climas de Chile. En Autor. *Meteorología Descriptiva*. 437.
- Jara, J. P., & de la Barrera, F. (2021). Rol de la vegetación en el control del microclima urbano y en la adaptación a los efectos del cambio climático en un barrio de San Pedro de la Paz, Chile. *URBE. Arquitectura, Ciudad y Territorio*, (13), 36-52. <https://doi.org/10.29393/UR13-3RVJP20003>
- Johansson, E., & Yahia, M. W. (julio 2015). Evaluation of the effect of densification of the built environment on outdoor thermal comfort in warm-humid Dar es Salaam, Tanzania. In The 9th International Conference on Urban Climate (ICUC9), 20th–24th July.
- Jové Sandoval, F. (2017). *Materiales aislantes e impermeabilizantes*. C3T10. Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Valladolid.
- Kruize, H., van der Vliet, N., Staatsen, B., Bell, R., Chiabai, A., Muiños, G., ... & Stegeman, I. (noviembre,2019). Urban green space: creating a triple win for environmental sustainability, health, and health equity through behavior change. *International journal of environmental research and public health*, 16(22), 4403. <https://doi.org/10.3390/ijerph16224403>
- Lira, A., & Guevara, A. (2017). Medición de la capacidad calorífica de los cuerpos y su relación con la inercia térmica. *Fac. Arq. Univ. Nac. Autónoma México*, 10. http://leias.fa.unam.mx/wp-content/uploads/2018/07/180515_Practica12_LES.pdf
- Liss, A., & Naumova, E. N. (junio, 2019). Heatwaves and hospitalizations due to hyperthermia in defined climate regions in the conterminous USA. *Environmental monitoring and assessment*, 191, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7412-5>
- Mahdieh, A., Mustafa, K., Manohar, M., Suhardi, M., & Mehdi, S. (2010). The role of urban green spaces in mood change. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(10), 5352-5361.

- Martínez, A. (2017). Invisibilización, procesos de guetización y negación del Derecho a la Ciudad: Población Bajos de Mena en la Comuna de Puente Alto. Santiago de Chile. *begeo*,(5), 55-68.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2004) Capítulo 7: La vivienda social en los gobiernos de la concertación de la década de los noventa Chile. Un siglo de políticas en vivienda y barrio. (pp.256).
- Monteiro, M. V., Doick, K. J., Handley, P., & Peace, A. (2016). The impact of greenspace size on the extent of local nocturnal air temperature cooling in London. *Urban Forestry & Urban Greening*, 16, 160-169. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.02.008>
- Muñoz, J. (2002). *Determinación de la difusividad térmica en pasta de murta (Ugni molinae Turcz), en función de la temperatura* (Tesis de pregrado) Escuela de Ingeniería en Alimentos, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile.Valdivia, Chile
- Muñoz, J. C., J. Barton, D. Frías, A. Godoy, W. Bustamante Gómez, S. Cortés, M. Munizaga, C. Rojas y E. Wagemann (2019) Ciudades y cambio climático en Chile: Recomendaciones desde la evidencia científica. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. (pp. 36)
- Mutani, G., Todeschi, V., & Matsuo, K. (julio,2019). Urban Heat Island Mitigation: A GIS-based Model for Hiroshima. *Instrumentation, Mesures, Métrologies*, 18(4). <https://doi.org/10.18280/i2m.180401>
- Nakata-Osaki, C. M., Souza, L. C. L., & Rodrigues, D. S. (enero,2018). THIS–Tool for Heat Island Simulation: A GIS extension model to calculate urban heat island intensity based on urban geometry. *Computers, Environment and Urban Systems*, 67, 157-168. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.09.007>
- Nasrallah, H. A., Brazel, A. J., & Balling Jr, R. C. (mayo/junio,1990). Analysis of the Kuwait City urban heat island. *International Journal of Climatology*, 10(4), 401-405. <https://doi.org/10.1002/joc.3370100407>
- Nero, B. F., Callo-Concha, D., Anning, A., & Denich, M. (2017). Urban green spaces enhance climate change mitigation in cities of the global south: the case of Kumasi, Ghana. *Procedia engineering*, 198, 69-83. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.074>
- Ochoa, J. M. (1999). *La vegetación como instrumento para el control microclimático*. (Tesis Doctoral). Escola Tècnica Superior d' Arquitectura de Barcelona, Departament de Construccions Arquitectòniques, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Oke, T. (1987). Chapter 8 Inadvertent climate modification. En Autor (eds.) *Boundary layer climates* (2nd ed.), (pp.262-303). Routledge.
- Oke, T. R. (2004). *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites* (Vol. 81, p. 51). Geneva: World Meteorological Organization. https://www.researchgate.net/profile/T-Oke/publication/265347633_Initial_guidance_to_obtain_representative_meteorological_observations_at_urban_sites/links/567a3b4d08ae361c2f681d5b/Initial-guidance-to-obtain-representative-meteorological-observations-at-urban-sites.pdf

- Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcciones. Decreto N° 47, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Santiago, Chile, 16 de abril de 1992.
- Park, J., Kim, J. H., Lee, D. K., Park, C. Y., & Jeong, S. G. (enero,2017). The influence of small green space type and structure at the street level on urban heat island mitigation. *Urban forestry & urban greening*, 21, 203-212. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.12.005>
- Parsaee, M., Joybari, M. M., Mirzaei, P. A., & Haghghat, F. (mayo,2019). Urban heat island, urban climate maps and urban development policies and action plans. *Environmental technology & innovation*, 14, 100341.<https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100341>
- Poumadere, M., Mays, C., Le Mer, S., & Blong, R. (noviembre, 2005). The 2003 heat wave in France: dangerous climate change here and now. *Risk Analysis: an International Journal*, 25(6), 1483-1494. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2005.00694.x>
- Radhi, H., Fikry, F., & Sharples, S. (mayo,2013). Impacts of urbanisation on the thermal behaviour of new built up environments: A scoping study of the urban heat island in Bahrain. *Landscape and Urban Planning*, 113, 47-61. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.01.013>
- Rakhshandehroo, M., & Yusof, M. M. (abril,2014). Establishing new urban green spaces classification for Malaysian cities. *En IFLA Asia Pacific Congress* (Vol. 6, pp. 1-13).
- Rakhshandehroo, M., Yusof, M. J. M., Arabi, R., Parva, M., & Nochian, A. (2017). The environmental benefits of urban open green spaces. *Alam Cipta*, 10(1), 10-16.
- Ramos, J. S. (2005). El papel del sistema de espacios verdes en la multifuncionalidad del paisaje urbano. Aplicación al área metropolitana de Sevilla. *En X Coloquio Ibérico de Geografía. "A geografía ibérica no contexto europeo"*: Actas. 22 a 24 de Setembro de 2005, Évora. (p. 29). Universidade de Évora.
- Reyes Päcké, S., & Figueroa Aldunce, I. M. (diciembre 2010). Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. *EURE* (Santiago), 36(109), 89-110. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612010000300004>
- Reyes Paecke, S., & De la Barrera Melgarejo, F. (agosto, 2019). Monitoreo de los avances en desarrollo urbano: análisis de los catastros de áreas verdes urbanas en el Área Metropolitana de Santiago, Chile. *Revista Invi*, 34(96), 129-150. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-83582019000200129>
- Robine, J. M., Cheung, S. L. K., Le Roy, S., Van Oyen, H., Griffiths, C., Michel, J. P., & Herrmann, F. R. (febrero,2008). Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes rendus biologiques*, 331(2), 171-178. <https://doi.org/10.1016/j.crvl.2007.12.001>
- Roth, M. (2012). Urban Heat Islands. En Fernando, H.J. (ed), *Handbook of Environmental Fluid Dynamics, Volume Two: Systems, Pollution, Modeling, and Measurements*. 143-162. CRC press.
- Saavedra, V. (2017). *Desarticulación social y espacial como efectos de la política habitacional focalizada. Santiago de Chile 1980 a 1997*. (Tesis de pregrado) Escuela de Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Universidad de Chile, Santiago de Chile.

- Sakka, A., Santamouris, M., Livada, I., Nicol, F., & Wilson, M. (enero,2012). On the thermal performance of low income housing during heat waves. *Energy and Buildings*, 49, 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.023>
- Salas-Esparza, M. G., & Herrera-Sosa, L. C. (junio, 2017). La vegetación como sistema de control para las Islas de Calor Urbano en Ciudad Juárez, Chihuahua. *Hábitat Sustentable*, 14-23. <https://doi.org/10.22320/07190700.2017.07.01.02>
- Santamouris, M. (enero,2015). Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions. *Science of the Total Environment*, 512, 582-598. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.060>
- Santibáñez, F., Santibáñez, P., & González, P. (2016). Elaboración de una base digital del clima comunal de Chile: línea base (1980 2010) y proyección al año 2050. *Informe final*. Julio, 99. https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Clima-Comunal_Informe_Final_29_08_2016-web.pdf
- Sarricolea Espinoza, P., & Romero Aravena, H. (octubre,2010). Análisis de los factores condicionantes sobre las temperaturas de emisión superficial en el área metropolitana de Valparaíso, Chile. *ACE: architecture, city and environment*, 5(13), 79-96. <http://hdl.handle.net/2099/9346>
- Sarricolea, P. (junio,2012). *La isla de calor urbana de superficie y sus factores condicionantes: El caso del área metropolitana de Santiago*. (Memoria de Doctorado), Programa oficial de doctorado: Geografía, planificación territorial y gestión ambiental.Universitat de Barcelona. Barcelona.
- Secretaría de Planificación Comunal Municipalidad de Puente Alto (2010) Plan de Desarrollo Comunal 2011 - 2020. https://transparencia.mpuntealto.cl/doctos/d41310_PLADECO_2011-2020.pdf
- Smith, P., & Romero, H. (mayo, 2016). Factores explicativos de la distribución espacial de la temperatura del aire de verano en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (63), 45-62. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022016000100004>
- Smithers, R. J., Doick, K. J., Burton, A., Sibille, R., Steinbach, D., Harris, R., ... & Blicharska, M. (octubre,2018). Comparing the relative abilities of tree species to cool the urban environment. *Urban Ecosystems*, 21, 851-862. <https://doi.org/10.1007/s11252-018-0761-y>
- Sobrino, J. A., & Irakulis, I. (junio,2020). A methodology for comparing the surface urban heat Island in selected urban agglomerations around the world from Sentinel-3 SLSTR data. *Remote Sensing*, 12(12), 2052. <https://doi.org/10.3390/rs12122052>
- Szymanowski, M., & Kryza, M. (febrero,2009). GIS-based techniques for urban heat island spatialization. *Climate Research*, 38(2), 171-187. <https://doi.org/10.3354/cr00780>
- The Energy and Resources Institute (2017) *Final Report on Urban Planning Characteristics to Mitigate Climate Change in Context of Urban Heat Island Effect*. Bangalore : The Energy and Resources Institute. (pp.82)

- Tokman, A. (2006). Capítulo 17: El MINVU, la política habitacional y la expansión excesiva de Santiago. En Galetovic, A. (ed), Santiago. *Donde estamos y hacia dónde vamos. Santiago*, (pp. 489-520). CEP Chile.
- Trapote, A. J. y Fernández, H. (2016). *Técnicas de drenaje urbano sostenible*. (Memoria). Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales.
- Ugarte, S. (enero,2012). Contaminación en escorrentía pluvial urbana. Aspectos generales. *Revista Ingeniería De Obras Civiles*, 1, 20-26.
<https://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/article/view/1963>
- Vargas-Hernández, J. G., Pallagst, K., & Zdunek-Wielgołaska, J. (junio, 2017). Urban green spaces as a component of an ecosystem. Functions, services, users, community involvement, initiatives and actions. *Rev. Urban*, 37, 1-26.
- Voogt, J. A. (2008). Urban Heat Islands: Hotter Cities. *EEUU: American Institute of Biological Sciences*.
- Wong, N. H., Tan, C. L., Kolokotsa, D. D., & Takebayashi, H. (marzo,2021). Greenery as a mitigation and adaptation strategy to urban heat. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(3), 166-181. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00129-5>
- Yang, J., McBride, J., Zhou, J., & Sun, Z. (enero,2005). The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban forestry & urban greening*, 3(2), 65-78.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2004.09.001>
- Zhou, D., Xiao, J., Bonafoni, S., Berger, C., Deilami, K., Zhou, Y., ... & Sobrino, J. A. (diciembre,2018). Satellite remote sensing of surface urban heat islands: Progress, challenges, and perspectives. *Remote Sensing*, 11(1), 48.
<https://doi.org/10.3390/rs11010048>