



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

DISMINUCIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL EN COMUNAS
PERICENTRALES AL SUR DE LA CIUDAD DE SANTIAGO MEDIANTE LA
CONVERSIÓN DE SITIOS ERIAZOS EN ESPACIOS VERDES

Memoria para optar al título de Geógrafo

CHRISTOFER NICOLÁS ROJAS CABALLERO

Profesora guía: Pamela Elisa Smith Guerra

Santiago – Chile

2019

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de forma sincera a quienes hicieron el viaje más placentero. En primer lugar, agradezco a mi familia por su constante apoyo, especialmente a mis padres, por su esfuerzo, por entregarme valores y herramientas que me permiten poder enfrentar la vida.

Agradecer a la profesora Pamela Smith, por su ayuda y orientación durante todo este proceso y poder integrar mi trabajo dentro del proyecto FONDECYT de Iniciación N°11180990 "Construcción social del clima urbano: hacia la calidad y justicia climática en ciudades chilenas".

A los amigos de siempre, por su compañía, por escuchar constantemente "*no si me falta poco*", por los buenos momentos durante todos estos años que seguramente continuarán en el tiempo.

A mis amigos que conocí durante la carrera, pareciera poco pero ya han pasado varios años, agradezco su compañía, especialmente estos últimos años.

Finalmente, a los geocompañeros y todas las personas que he conocido durante estos años que han contribuido de alguna manera a hacer más entretenido el paso del tiempo.

Yo estoy bien, mi familia está bien y gracias por todo

RESUMEN

La isla de calor urbana superficial (ICUs) alude a las altas temperaturas que emiten las diferentes estructuras urbanas, provocando el aumento de la temperatura del aire en las capas más bajas de la atmósfera urbana, este fenómeno acentúa el estrés térmico en las ciudades. Una de las medidas más utilizadas para mitigar el efecto de la ICUs y regular el clima urbano, es el aumento de la presencia de espacios verdes al interior de las ciudades (entendidos desde el marco teórico de la infraestructura verde), estos espacios son capaces de proveer una amplia gama de beneficios (servicios ecosistémicos), destacando entre ellos la reducción de la temperatura (efecto enfriador). En este trabajo, se identificó la infraestructura verde disponible y los sitios eriazos que pueden cobijar nuevos espacios verdes dentro del área de estudio, posteriormente, a través de *Google Earth Engine*, se determinó la capacidad de los espacios verdes más representativos para reducir la temperatura en superficie; los resultados muestran que los parques urbanos son los más efectivos en esta tarea, disminuyendo alrededor de 1°C la temperatura emitida en comparación con su entorno adyacente. Se utilizó el *software ENVI-met* para simular el beneficio térmico de la potencial conversión de sitios eriazos en parques urbanos, los resultados muestran que la temperatura superficial se reduce al aumentar la presencia de árboles de follaje denso y de gran altura, capaces de consolidar el efecto enfriador.

Palabras claves: isla de calor urbana superficial, temperatura superficial, efecto enfriador, infraestructura verde, servicios ecosistémicos.

ABSTRACT

The surface urban heat island refers to high temperatures emitted by different urban structures, causing air temperature increase in urban atmosphere lower layer, this phenomenon accentuates cities thermal stress. One of the most used methods in order to mitigate surface urban heat island effect and regulate urban climate, is increase green spaces presence within cities (understood from green infrastructure theoretical framework), these spaces are able to provide a wide range of benefits (ecosystem services), highlighting temperature reduction. In this paper, it was identified available green infrastructure and vacant lots that can shelter new green spaces within study area, later, through Google Earth Engine, reduce surface temperature capacity was determined for most representative green spaces, results show that urban parks are the most effective in this task, reducing emitted temperature by 1°C compared to its adjacent environment. ENVI-met was used to simulate thermal benefit of potential conversion of vacant lots in urban parks, results show that surface temperature is reduced by increase trees with dense foliage and high altitude, capable to consolidate cooling effect.

Key words: Surface urban heat island, land surface temperature, cooling effect, green infrastructure, ecosystem services

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	3
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE ANEXOS	7
CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN	8
1.1 Introducción	8
1.2 Planteamiento del problema	9
1.3 Área de estudio	11
1.4 Objetivos	15
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ASUNTO	16
2.1 Isla de calor urbana (ICU).....	16
2.1.1 Definición del concepto.....	16
2.1.2 Impactos generados.....	21
2.1.3 Causas que originan el surgimiento de la ICU y de la ICUs.....	22
2.2 Infraestructura verde (IV).....	25
2.2.1 Definición del concepto.....	25
2.2.2 Tipos de Infraestructura Verde	27
2.2.3 Beneficios proporcionados por la Infraestructura Verde	28
2.3 Planificación de infraestructura verde para la reducción de la isla de calor.....	30
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO	32
3.1 Estructura metodológica general.....	32
3.2 Fase metodológica I: Identificación de espacios verdes y sitios eriazos	33
3.3 Fase metodológica II: Determinación de temperatura superficial.....	36
3.4 Fase metodológica III: Modelación del efecto enfriador	42
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	50
4.1 Identificación y distribución de los espacios verdes.....	50
4.2 Identificación y distribución de sitios eriazos.....	61
4.3 Análisis temperatura superficial.....	63
4.4 Modelación del efecto enfriador producido por la creación de nuevos espacios verdes	75

CAPITULO 5: DISCUSIONES	88
CAPITULO 6: CONCLUSIONES	93
CAPITULO 7: BIBLIOGRAFÍA	95
CAPITULO 8: ANEXOS	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Macrozonas del Gran Santiago.....	12
Figura 2: Área de estudio.....	13
Figura 3: Temperatura promedio en el Gran Santiago (2010-2016).....	14
Figura 4: Perfil típico de la Isla de Calor Urbana (<i>Urban Heat Island</i>)	17
Figura 5: Generación de células convectivas por efecto de la ICU.....	18
Figura 6: Comportamiento diurno y nocturno de la ICU e ICUs.....	20
Figura 7: Formación de la isla de calor urbana	23
Figura 8: Servicios ecosistémicos provistos a nivel de ciudad	28
Figura 9: Esquema metodológico general.....	32
Figura 10: Insumos para la fotointerpretación	34
Figura 11: Clasificación de espacios verdes	35
Figura 12: Componentes de <i>Google Earth Engine code editor</i>	39
Figura 13: Herramientas de geometría	39
Figura 14: Interfaz de la ventana <i>Assets</i>	40
Figura 15: Códigos para obtener temperatura superficial.....	41
Figura 16: Producto resultante de <i>Google Earth Engine</i>	42
Figura 17: Interfaz de <i>ENVI-met</i>	43
Figura 18: Ubicación estaciones meteorológicas, parques y sitios eriazos contiguos	44
Figura 19: Preferencia en los resultados de la simulación	45
Figura 20: Interfaz de SPACES	46
Figura 21a: Configuración área modelada	47
Figura 21b: Configuración de la grilla.....	47
Figura 22a: Imagen con norte desviado.....	47
Figura 22b: Imagen de acuerdo al norte	47
Figura 23a: Especie de 5m	48
Figura 23b: Especie de 15m	48
Figura 24a: Ej. a modelar en <i>ENVI-met</i>	49
Figura 24b: Ejemplo modelado en <i>ENVI-met</i>	49
Figura 24c: Ejemplo suelos modelados en <i>ENVI-met</i>	49
Figura 25: Espacios verdes en el área de estudio.....	50
Figura 26: Representación de espacios verdes según superficie comunal	51
Figura 27: Bandejones y rotondas en el área de estudio	52
Figura 28: Plaza al interior de una rotonda	53
Figura 29: Tipos de bandejones.....	54

Figura 30: Resultados encuesta preferencia de áreas verdes.....	55
Figura 31: Plazas y parques en el área de estudio	56
Figura 32: Espacios privados en el área de estudio	59
Figura 33: Sitios eriazos en el área de estudio.....	61
Figura 34: Representación de sitios eriazos según superficie comunal	62
Figura 35: Temperatura superficial promedio y máxima según macrozonas para el verano 2017	64
Figura 36: Evolución t° superficial promedio durante el verano según macrozonas	64
Figura 37: Temperatura máxima absoluta en Santiago (1914-1917).....	65
Figura 38: Temperatura superficial promedio y máxima según comunas para el verano 2017	66
Figura 39: Temperatura superficial y disponibilidad de espacios verdes por comuna	67
Figura 40: Ubicación parques evaluados y áreas de influencia a 100 y 200 metros.....	68
Figura 41: Temperatura superficial promedio y extensión de los parques evaluados.....	70
Figura 42: Temperatura superficial promedio y extensión de sitios eriazos evaluados	74
Figura 43a: Área a modelar	76
Figura 43b: Área modelada.....	76
Figura 43c: modelados	77
Figura 44a: Espacio verde simulado	77
Figura 44b: Suelos espacio verde simulado.....	77
Figura 45: Temperatura superficial en el paisaje actual y modelado	79
Figura 46: Radiación directa y reflejada en el paisaje actual y simulado	81
Figura 47a: Área a modelar	83
Figura 47b: Área modelada.....	83
Figura 47c: Modelados	84
Figura 48a: Espacio verde simulado	84
Figura 48b: Suelos espacio verde simulado.....	84
Figura 49: Temperatura superficial en el paisaje actual y en el paisaje simulado	86
Figura 50: Radiación directa y reflejada en el paisaje actual y simulado	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características comparadas entre islas de calor urbana de superficie y atmosférica	19
Tabla 2: Definiciones de infraestructura verde	26
Tabla 3: Tipos de infraestructura verde.....	27
Tabla 4: Tipos de Servicios Ecosistémicos (SE)	29
Tabla 5: Definición espacios verdes públicos.....	35
Tabla 6: Productos Landsat para cálculo de temperatura superficial	37
Tabla 7: Características de las bandas termales <i>Landsat</i>	37
Tabla 8: Datos de entrada utilizados en <i>ENVI-met</i>	45
Tabla 9: Parques más importantes identificados por comuna	57

Tabla 10: Comparación superficie (m ²) entre espacios públicos y privados	60
Tabla 11: Espacios verdes públicos por comuna según recomendación OMS	60
Tabla 12: Diferencias térmicas con comuna rural durante el verano de 2017	66
Tabla 13: Temperatura superficial promedio para parques y su entorno (°C) durante el verano 2017	69
Tabla 14: Plazas analizadas en el área de estudio	71
Tabla 15: Promedio temperatura superficial (°C) plazas y su entorno durante el verano 2017	71
Tabla 16: Sitios eriazos analizados en el área de estudio	73
Tabla 17: Temperatura superficial promedio sitios eriazos para el verano 2017	74
Tabla 18: Parámetros usados en sitio eriazo ubicado en Pedro Aguirre Cerda.....	75
Tabla 19: Parámetros usados en sitio eriazo localizado en Cerrillos.....	82

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Temperatura registrada por estación Cerrillos el 11 de febrero de 2017	101
Anexo 2: Cantidad de espacios verdes (m ²) según tipología	101
Anexo 3: Valores obtenidos (°C) desde el <i>Landsat 8</i>	102
Anexo 4: Promedios de temperatura atmosférica en meses de verano para estaciones del SINCA	102
Anexo 5: Parque Bicentenario	103
Anexo 6: Parque André Jarlan	103
Anexo 7: Parque El Llano	104
Anexo 8: Parque Violeta Parra.....	104
Anexo 9: Parque La Castrina	105
Anexo 10: Parque La Bandera.....	105
Anexo 11: Parque República de Brasil.....	106

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

1.1 Introducción

El avance de la urbanización modifica drásticamente las condiciones climáticas naturales de los territorios, estos cambios antropogénicos modifican las características climáticas, originando lo que se conoce como clima urbano. Naturalmente, las ciudades son la representación gráfica de estas transformaciones; cada ciudad presentará condiciones climáticas distintas en función de las variaciones que presenten en los usos y coberturas de los suelos (González, 2011; Romero et al. 2010).

La permanente sustitución de superficies naturales por superficies urbanas (como pavimentos, construcciones, etc.), altera el balance de energía, generando variaciones a escala regional y local; a nivel local se forma el fenómeno de la isla de calor urbana (ICU), reconocida como una de las más evidentes formas de intervención antrópica sobre el clima. La ICU genera mayores tasas de calentamiento y menores de enfriamiento en zonas urbanas, en comparación con zonas rurales adyacentes; típicamente la ICU verá su desarrollo facilitado en ciudades de gran tamaño o en aquellas que disponen de una vegetación reducida (Mohajerani et al., 2017).

La isla de calor se considera un indicador de la degradación ambiental, a cualquier escala de estudio, ya que se relaciona con la producción de condiciones adversas para la salud de la población y de los ecosistemas, especialmente durante el verano. La calidad de vida urbana se ve mermada por este fenómeno, al producir un clima urbano que aumenta el estrés térmico en la población; esta situación es un tema que aumenta en importancia considerando que cerca del 90% de la población chilena vive en áreas urbanas (Romero & Molina, 2008; Romero & Smith, 2010).

Desde la planificación urbana se deben proponer medidas para mitigar y adaptarse a tales variaciones climáticas, teniendo como principal objetivo la reducción de la temperatura; para ello se reconoce el incremento de la vegetación en zonas urbanas, ya que posee la capacidad de disminuir la temperatura de su alrededor a través de la producción de sombras y el aumento de los niveles de evapotranspiración, generando en el proceso áreas más frías y húmedas (islas de frescor) dentro de la ciudad (González, 2011; Gunawardena et al., 2017). Por lo tanto, la vegetación urbana en general y los parques urbanos en particular poseen un papel importante en la construcción del clima urbano.

Una forma práctica de conocer el potencial impacto térmico, proveniente del aumento de vegetación, es el uso de modelos de simulación, estos permiten observar variaciones térmicas sin tener que incurrir en los costos que significaría llevar a cabo dicha medida sobre el territorio. Los modelos de simulación pueden erigirse como una valiosa herramienta para la planificación urbana en el entendimiento y mitigación de la ICU (González, 2011). Uno de estos modelos corresponde al *software ENVI-met*, el cual se utilizó en el presente estudio para modelar el aumento de la vegetación en comunas del pericentro sur de Santiago, las cuales se caracterizan por contar con una baja cantidad de vegetación y al

mismo tiempo, disponer de espacios vacantes que potencialmente pueden ser utilizados como nuevos espacios verdes.

1.2 Planteamiento del problema

El avance de la urbanización es un proceso que se ha sostenido a lo largo del tiempo a escala planetaria, si hace un siglo atrás solo el 14% de la población mundial vivía al interior de las ciudades, actualmente el 52% de la población mundial vive en ellas, incluso en algunos países el porcentaje de población urbana sobrepasa el 80%. Organismos como la Organización de las Naciones Unidas proyectan que, de seguir esta tendencia, para el año 2050 el 67% de la población mundial será urbana (Ángel et al. 2010; Debbage & Shepperd, 2016). La realidad nacional no escapa a este escenario, en el año 2002 el 86,6% del total poblacional se encontraba viviendo en áreas urbanas (INE, 2003), este porcentaje ha aumentado pues para el año 2017 el 87,8% de la población total chilena vive en ciudades (INE, 2018).

A mediados del siglo XX, los países latinoamericanos comenzaron a experimentar un intenso proceso de urbanización, que se ha traducido en importantes modificaciones a la estructura del tejido urbano, estos cambios suelen caracterizarse por: la expansión del límite de las ciudades, alta densificación, crecimiento vertical y pérdida importante de áreas verdes (Palme et al. 2016). Particularmente para el caso de Santiago, el continuo aumento de sus límites ha significado que entre 1975 y 2004 la capital duplicó su superficie construida pasando de 33.962 has a 63.134 has, reemplazando espacios cubiertos por cultivos y vegetación con urbanizaciones, principalmente de uso de tipo industrial y urbanizaciones de alta densidad (Romero & Molina, 2008; Romero & Sarricolea, 2006). La pérdida de superficies naturales en desmedro del avance de la ciudad es señalada por múltiples autores como la máxima expresión de la transformación del medio natural por la acción humana. La urbanización implica profundas modificaciones de las condiciones climáticas de los territorios. Estas alteraciones de las condiciones subyacentes propician cambios y desequilibrios asociados al clima urbano, que encuentra su punto culmine en la generación de islas de calor al interior de las ciudades (Vásquez et al., 2008, Romero & Molina, 2008; Capelli et al., 2001).

La isla de calor urbana (ICU) es un fenómeno ampliamente estudiado, principalmente por sus repercusiones negativas en el bienestar humano, al mermar el confort térmico dentro de las ciudades, que como se señaló, es el hábitat principal del ser humano. El fenómeno de la isla de calor hace referencia a la diferencia térmica existente entre las urbes con su entorno rural inmediato, presentándose las ciudades como espacios más cálidos. La diferencia de temperatura se explica por la materialidad de las estructuras urbanas, las cuales se caracterizan por presentar un bajo albedo, una casi inexistente capacidad de absorción de agua (impermeabilidad) y por poseer un comportamiento térmico propicio para el almacenamiento y la emisión de calor (Capelli et al., 2001; Romero & Sarricolea, 2006). En adición, se debe considerar que, el aumento de la temperatura urbana provoca la aparición de células convectivas, es decir, ascensos de aire cálido sobre la ciudad que

repercuten directamente en la difusión de partículas contaminantes (Romero & Sarricolea, 2006).

El aumento de los espacios verdes al interior de las ciudades se constituye como una de las medidas más difundidas para mitigar los efectos negativos de la isla de calor y mejorar el bienestar de la población urbana (Meeros, & Newell, 2017). La importancia de contar con estos espacios al interior de las urbes radica en su capacidad para proveer un variado grupo de servicios ambientales, entre los que destacan: reducción de la escorrentía superficial (aumento de la infiltración), mitigación de las inundaciones, regulación de gases (+O² y -CO²), secuestro de carbono y la modificación del clima local. La contribución de la vegetación para mejorar las condiciones del clima urbano ha sido demostrada en diversas ciudades, así como también su rol en la captura de partículas y renovación del aire, pues la vegetación contribuye a mantener el balance energético en las ciudades al reducir la temperatura superficial, que a su vez afecta a la temperatura del aire sobre áreas más amplias. También es posible señalar que la vegetación reduce la transferencia de calor, lo cual indirectamente resultará en la disminución de las emisiones de calor antropogénico por el concepto de refrigeración (Gunawardena et al., 2017; Reyes & Figueroa, 2010).

Por lo planteado anteriormente es que los espacios verdes son considerados el “capital ambiental” a utilizar en función de mitigar los efectos adversos de la isla de calor urbana y los eventos de calor extremo, pensando en un contexto de cambio climático (Vásquez, 2016). A pesar de la importancia de contar con este capital, en las grandes ciudades de América Latina los espacios verdes son escasos, debido a su historia de urbanización precaria y explosiva de la segunda mitad del siglo XX. Como es de esperar la ciudad de Santiago tampoco escapa a esta realidad, y si bien en los últimos años se han realizado inversiones orientadas a la construcción y recuperación de áreas verdes, aun la dotación de estas áreas es deficitaria. La superficie total de áreas verdes disponibles en Santiago es de 4m²/hab (Núñez, 2017), si se compara este valor con los 9 m²/hab propuesto por la Organización Mundial de la Salud se puede apreciar que existe un déficit general de áreas verdes, y también enormes desigualdades en la dotación de estos espacios entre las comunas que constituyen el Gran Santiago, pues las comunas con menor superficie de áreas verdes se caracterizaran por concentrar los estratos socioeconómicos más bajos (D y E); este es el caso de las comunas de Pedro Aguirre Cerda (0,49 m²), La Cisterna (1,51 m²), Pudahuel (1,71 m²), Quinta Normal (1,85 m²) e Independencia (2,03 m²) (Guzmán, 2017)

En el presente trabajo se evaluó el caso de las comunas pericentrales al sur de Santiago, es decir, el conjunto conformado por Cerrillos, Lo Espejo, Pedro Aguirre Cerda, La Cisterna, San Miguel, La Granja, San Ramón y San Joaquín. Estas comunas conforman una unidad geográfica caracterizada por superficies verdes limitadas y, al mismo tiempo, altas temperaturas promedios en la estación verano, periodo en el que se intensifican los efectos locales de la isla de calor urbana (Romero, 2017). Se propone dar un tratamiento a esta realidad urbana, a través de la proposición de nuevos espacios verdes que puedan conformar una red de infraestructura verde que tenga por objetivo mitigar la intensidad del efecto de la ICUs. Se plantea el uso del concepto infraestructura verde como un marco

ecológico de referencia para la planificación urbana, entendiendo los espacios verdes como un sistema de espacios naturales que actúan como soporte de la vida en la ciudad.

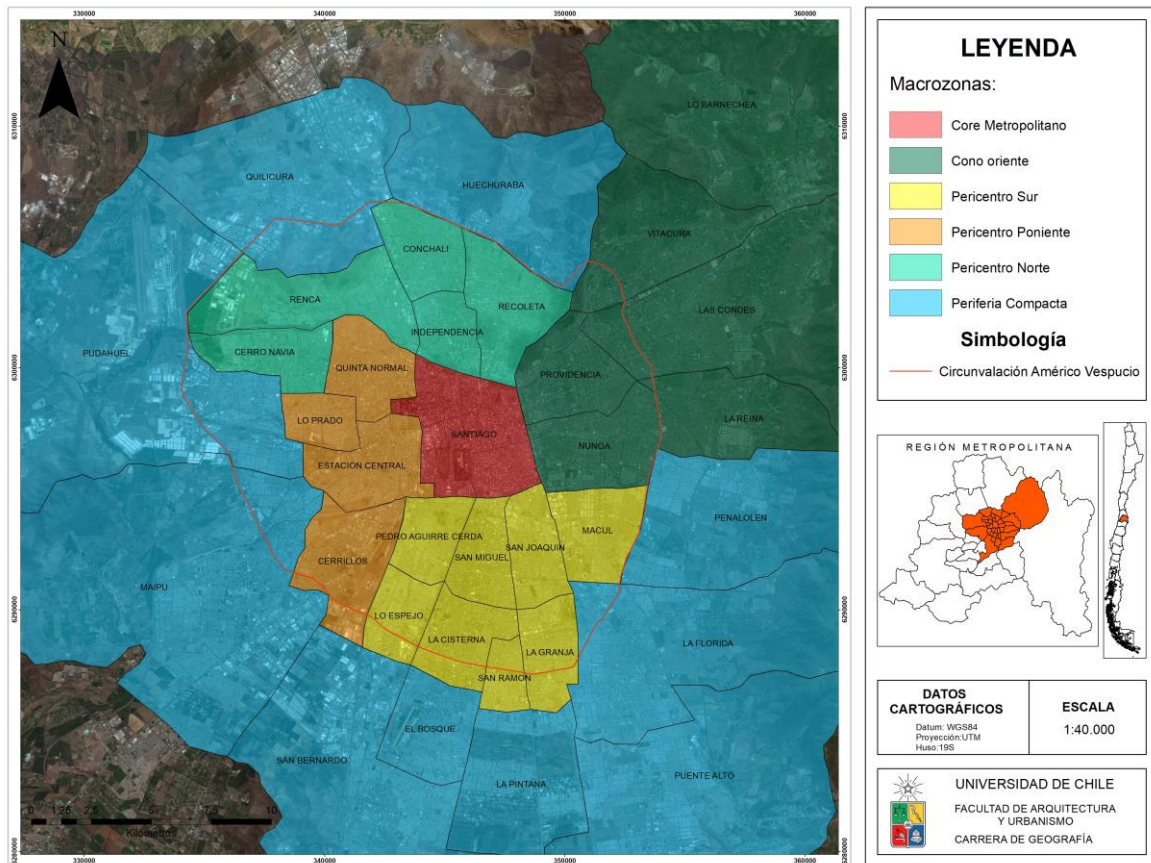
1.3 Área de estudio

El área de estudio se localiza dentro del Gran Santiago (figura 1), compuesta por las 32 comunas pertenecientes a la provincia de Santiago, a las que se suman la comuna de Puente Alto de la provincia Cordillera y la comuna de San Bernardo de la provincia del Maipo. Esta gran unidad es dividida por Moreno (2016) en 4 macrozonas: el Core Metropolitano o espacio central, corresponde a la comuna de Santiago; el Cono Oriente o cuña de la riqueza, constituido por La Reina, Las Condes, Lo Barnechea, Ñuñoa, Providencia y Vitacura; las Zonas Pericentrales correspondiente a las comunas ubicadas al interior del anillo Américo Vespucio y que no forman parte del Cono Oriente. Este espacio se subdivide en tres regiones: la Región Pericéntrica Sur compuesta por Macul, San Joaquín, Pedro Aguirre Cerda, Lo Espejo, San Miguel, La Cisterna, San Ramón y La Granja; la Región Pericéntrica Poniente compuesta por Quinta Normal, Estación Central, Cerrillos y Lo Prado; la Región Pericéntrica Norte compuesta por Recoleta, Independencia, Conchalí, Renca y Cerro Navia. Por último, se encuentra la Periferia Compacta, que se compone por 10 comunas externas al anillo Américo Vespucio: Huechuraba, Quilicura, Pudahuel, Maipú, La Florida, Peñalolén, El Bosque, La Pintana, San Bernardo y Puente Alto. Siguiendo la propuesta de Moreno (2016), el área de estudio (figura 2) del presente trabajo abarca las comunas pericentrales al sur de Santiago, agregando a la comuna de Cerrillos y dejando fuera a la comuna de Macul.

En términos climáticos, Santiago, según la clasificación de Köppen presenta un clima templado de verano seco (Csb). El promedio anual de lluvias es de 356,2 mm y se concentra entre los meses de mayo y agosto. La temperatura media anual asciende a 14,7°C, el mes más cálido corresponde a enero con un promedio de 22,1°C y el mes más frío es julio con 8,2°C (León, 2013; Sarricolea & Martín-Vide, 2014). En adición, es pertinente consignar que Sarricolea (2012) señala que la temperatura media de las máximas ha aumentado 1°C mientras que las mínimas han aumentado 0,83°C en los últimos 56 años; para el autor este escenario refleja en cierta medida el proceso de calentamiento global pero principalmente se debe al efecto de la isla de calor urbana.

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

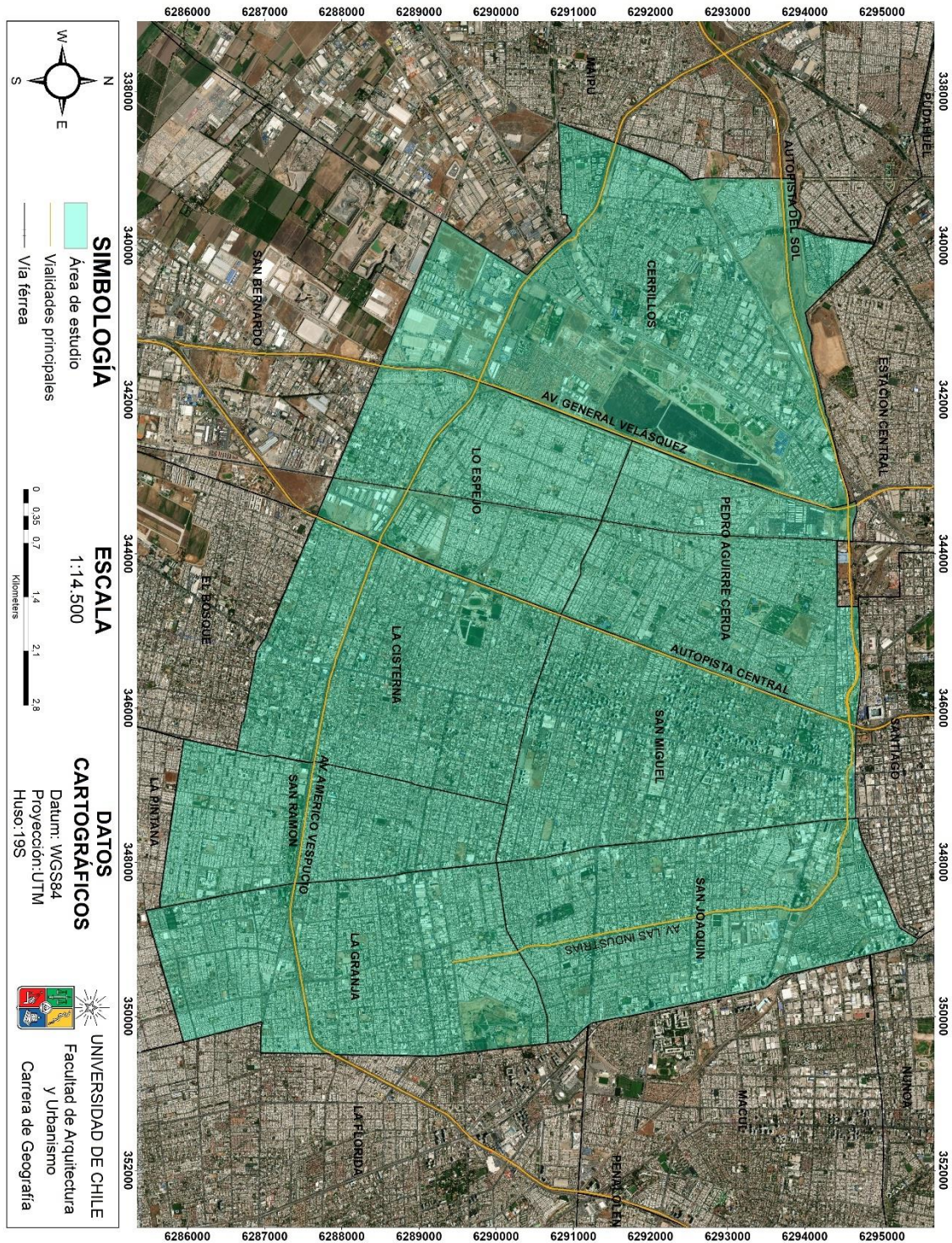
Figura 1: Macrozonas del Gran Santiago



Fuente: Elaboración propia en base a Moreno (2016)

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

Figura 2: Área de estudio



Fuente: Elaboración propia

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivo General:

- Evaluar los efectos de la conversión de sitios eriazos en espacios verdes sobre el comportamiento de la temperatura superficial en comunas pericentrales del sur de la ciudad de Santiago.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Identificar la distribución y tipología de los espacios verdes y sitios eriazos existentes.
- Analizar la distribución e intensidad de la isla de calor superficial durante el verano 2017.
- Modelar el efecto enfriador producido por la creación de nuevos espacios verdes.

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ASUNTO

2.1 Isla de calor urbana (ICU)

2.1.1 Definición del concepto

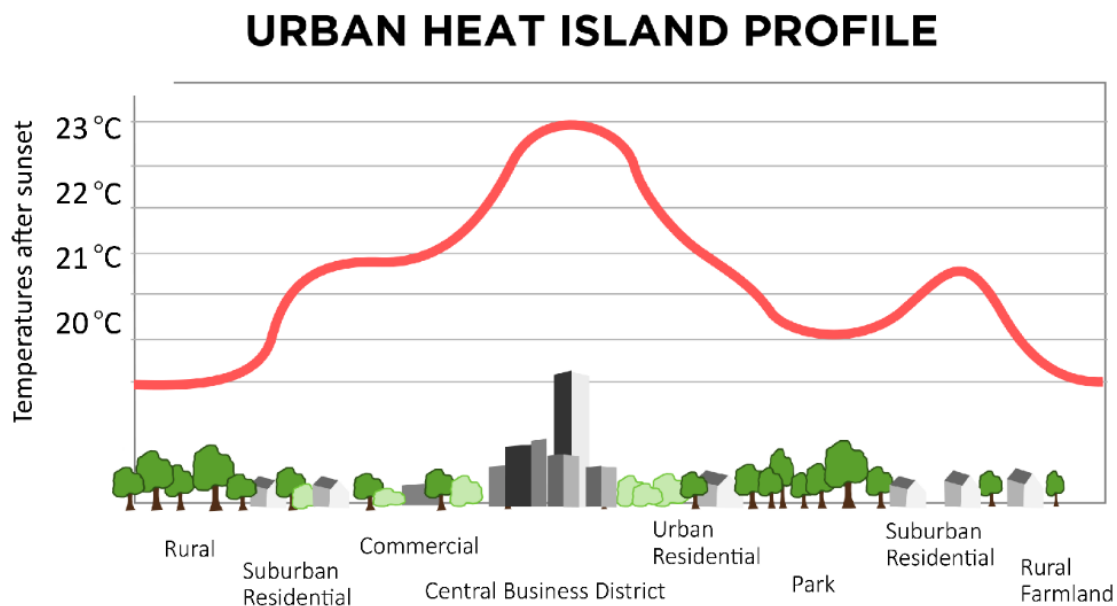
La isla de calor urbana es un fenómeno que ha sido bien investigado y documentado a lo largo del tiempo. El primero en medir y discutir los efectos de la isla de calor urbana fue el climatólogo Luke Howard, quien a inicios del siglo XIX se encontraba estudiando el clima urbano de Londres, Howard comparó estaciones meteorológicas al interior y fuera de la ciudad, dándose cuenta de que las noches en la ciudad eran más cálidas que en la periferia rural. Para explicar tal diferencia formuló la hipótesis que el clima de la ciudad está determinado por la naturaleza del intercambio de energía superficial, atribuyendo el uso de combustible como el factor desencadenante de esta diferencia. Desde entonces muchos investigadores alrededor del planeta han conducido diferentes investigaciones para profundizar el efecto, las características y las medidas de mitigación de la isla de calor urbana. En los últimos años, a raíz del escenario climático generado por el calentamiento global han aumentado el número de investigaciones sobre el fenómeno y al mismo tiempo se ha generado una comprensión más profunda del concepto (Gunawardena et al., 2017; Mohajerani et al., 2017; Sarricolea, 2012; Yang et al., 2016).

La revisión de la literatura demuestra que hay un acuerdo en cuanto a la definición del concepto, por lo que es posible establecer que la isla de calor urbana corresponde al aumento de la temperatura de la ciudad, en comparación con su entorno inmediato o adyacente de carácter rural o natural. Este fenómeno es producido por la acumulación de calor en áreas urbanas debido a la materialidad de las construcciones como techos y paredes, calles y avenidas, sitios industriales, etc.; caracterizadas por estar construidas con materiales que almacenan y conducen gran cantidad de calor cuando reciben la radiación solar, la que posteriormente devuelven a la atmósfera. Debido a su importancia, se reconoce a la isla de calor urbana como una de las más evidentes intervenciones antrópicas sobre el clima. (Sarricolea et al., 2008; Razzaghmanesha et al., 2015; Palme et al., 2016; Yang et al., 2016; Mohajerani et al., 2017).

La isla de calor urbana suele representarse gráficamente a través de mapas de isotermas, los cuales muestran el comportamiento espacial de la temperatura en la ciudad y su entorno. Típicamente estos mapas exhiben un *peak* térmico en el centro de la ciudad y una disminución progresiva de las temperaturas al acercarse a la periferia de carácter rural (Sepúlveda, 2016). La figura 4 expone un perfil simplificado de la distribución de la temperatura en la urbe, caracterizado por el alza progresivo de la temperatura en la medida que las coberturas de suelo de espacios naturales ceden terreno frente a superficies urbanizadas.

La ICU no solo genera un aumento en la temperatura del aire, también ocasiona el ascenso del aire cálido (denominado tiro convectivo o célula convectiva) sobre las zonas más densamente urbanizadas en la ciudad, este proceso da paso a la creación de áreas de bajas presiones atmosféricas relativas. El efecto convectivo producido influye en la circulación local del aire proveniente desde la periferia hacia el centro (Sepúlveda, 2016; Romero et al., 2010). La figura 5 da cuenta de esta situación, en ella es posible apreciar el desplazamiento del viento más frío proveniente desde la periferia y como este comienza a converger en las cercanías del centro de la ciudad, dando forma al tiro convectivo; además se muestra el comportamiento de las células convectivas según el tipo de cobertura de suelo presente en el territorio.

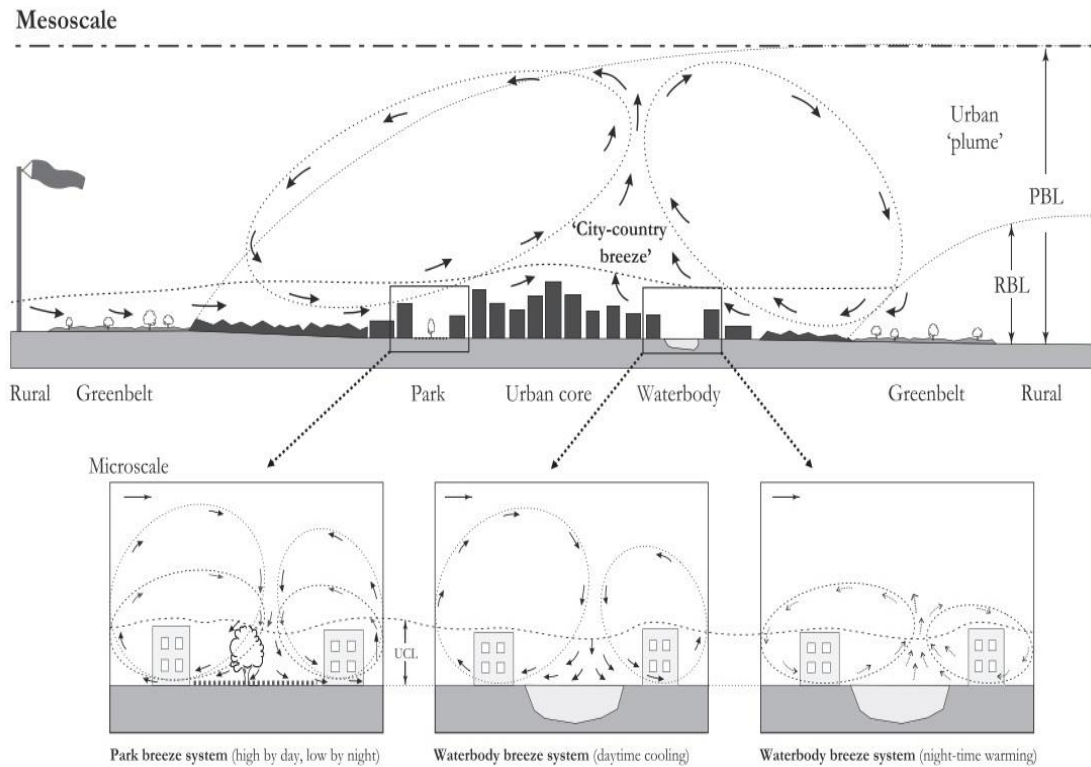
Figura 4: Perfil típico de la Isla de Calor Urbana (*Urban Heat Island*)



Fuente: Metlink.org

Existen dos tipos de isla de calor: la isla de calor urbana (ICU) propiamente tal, que corresponde a lo anteriormente definido, y la isla de calor urbana superficial (ICUs) que corresponde a las altas temperaturas de emisión que alcanzan las diferentes estructuras y cuerpos urbanos, su medición se realiza a través de información captada por sensores infrarrojos, como los que se encuentran en satélites de observación terrestre (Romero & Sarricolea, 2010; Smith, 2011).

Figura 5: Generación de células convectivas por efecto de la ICU



Gunawardena et al. (2017)

La temperatura superficial, en sus siglas en inglés LST (*Land Surface Temperature*), es uno de los parámetros clave en la física de los procesos de la superficie terrestre, pues es la combinación resultante de todos los flujos de energía entre la superficie y la atmósfera; condicionando de esta manera, la temperatura del aire en las capas más bajas de la atmósfera urbana. Además, es esencial para determinar los balances energéticos, las condiciones bioclimáticas al interior de los edificios y los intercambios de estos con su entorno; todos ellos, indicadores que afectan al confort térmico de los habitantes de las ciudades (Sarricolea & Martín-Vide, 2014; Parastatidis et al., 2017). Su importancia en la climatología urbana radica en que permite monitorear los procesos que modifican las respuestas térmicas del paisaje, a saber: la energía de la superficie y el balance del agua. Debido a la alta heterogeneidad en la composición de los paisajes de la superficie terrestre, la temperatura superficial cambia rápidamente en el espacio y en el tiempo, por lo que, para dar cuenta de la evolución y distribución de esta variable, se requiere de mediciones frecuentes y detalladas para obtener series de tiempo de temperatura superficial consistentes (Parastatidis et al., 2017). Streutker (citado en Sarricolea & Martín-Vide, 2014) señala que son escasos los estudios de climatología urbana a alta resolución espacial, y casi exclusivamente se encuentran referidos a las temperaturas superficiales, es decir, al estudio de la ICUs.

Ambas islas de calor dan cuenta de la mayor temperatura registrada en la capa de aire más cercana que cubre la ciudad (*Urban Canopy Layer*¹), sin embargo, aún no existe consenso en las correlaciones espaciales presentes entre ambas, del mismo modo aún no hay consenso para determinar la estacionalidad de la máxima intensidad de las dos islas de calor. Para el caso de la isla de calor urbana (ICU) algunos autores señalan que su intensidad es mayor durante el verano (Debbage, & Shepherd, 2015; Gunawardena et al., 2017) ya que durante ese periodo aumenta la cantidad de radiación solar disponible dentro del sistema urbano, mientras que otros indican que su efecto es más pronunciado a lo largo del invierno (Sarricolea & Romero, 2010; Fernández et al., 2016) debido a la influencia del consumo energético para la calefacción. Sarricolea (2012) señala que en general se considera el invierno como el periodo de mayor intensidad de la ICU, sin embargo, no es atípico que también se presente durante el verano, como es el caso del Área Metropolitana de Santiago y Rancagua.

Es importante consignar que la configuración espacial de la isla de calor urbana no es estable pues presenta una alta variabilidad temporal, esta condición puede encontrarse relacionadas a cambios ya sea en la dinámica atmosférica regional o bien a condiciones meteorológicas específicas como los flujos de vientos y las condiciones sinópticas. En el caso de la ICUs, el mayor nivel de intensidad está fuertemente mediado por las características del emplazamiento de la ciudad, las características de su entorno inmediato y por las condiciones inherentes a la localización geográfica de la ciudad (Sarricolea, 2012). Las diferencias más importantes entre ambos fenómenos se encuentran resumidas en la tabla 1.

Tabla 1: Características comparadas entre islas de calor urbana de superficie y atmosférica

Características	Isla de calor urbana atmosférica (ICU)	Isla de calor urbana de superficie (ICUs)
Desarrollo temporal	Pequeña o inexistente durante el día Más intensa durante el verano	Presente en el día y en la noche Más intensa en los días de verano
Máxima intensidad	Menos variación espacial y temporal: Día: -1 a 3°C Noche: 7 a 12°C	Más variación espacial y temporal: Día: 10 a 15°C Noche: 5 a 10°C
Método típico para su estudio	Mediciones directas utilizando estaciones meteorológicas fijas y transectos móviles	Mediciones indirectas usando sensores remotos

¹ También conocido como palio urbano, es la capa de aire bajo el nivel que marcan la altura de los tejados de los edificios, presenta una amalgama de microclimas, inferida por las características de los alrededores inmediatos. Se caracteriza por su extraordinaria complejidad fruto de los diferentes materiales de construcción urbanos (Moreno, 2010).

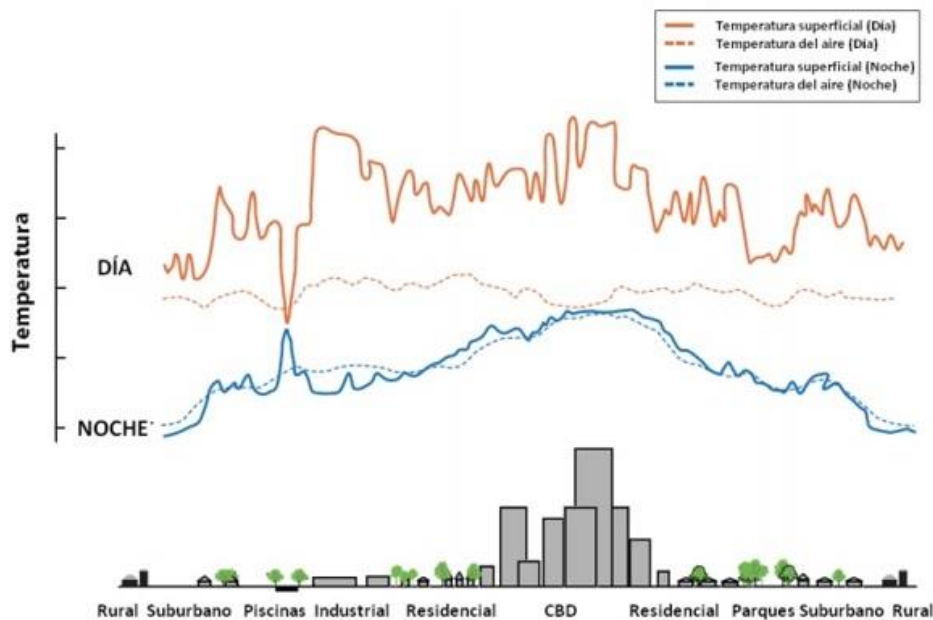
Representación típica	Mapa de isotermas y gráficos de temperatura	Imagen térmica
Mitigación	Morfología y estructura urbana Aumento zonas verdes	Modificación de los materiales de cubren la superficie Aumento zonas verdes

Fuente: Sarricolea (2012) & Fernández et al. (2016)

La figura 6 evidencia el comportamiento que adquieren ambas islas en el entramado urbano y rural, durante el día y la noche. En el transcurso del día se observa las diferentes intensidades (señaladas en la tabla anterior) que alcanza cada una; la ICUs se presenta ostensiblemente, mientras que la ICU se desarrolla con una intensidad claramente menor. Por el contrario, durante la noche, se aprecia que estas diferencias tienden a ser suavizadas, reduciéndose hasta alcanzar valores generales similares entre la temperatura superficial y la temperatura del aire. Durante la noche la ICU es más intensa, alcanzando su mayor magnitud a las 00:00 horas, debido a que la liberación del calor acumulado por los materiales ocurre durante este periodo, incrementando la temperatura del aire que cubre la ciudad.

Por lo expuesto anteriormente, se establece que ambas islas de calor corresponden a fenómenos autónomos y complementarios entre sí, que ayudan a entender el comportamiento climático de las ciudades. Debido a que cada urbe posee características específicas propias, es necesario realizar estudios particulares para cada una que conduzcan al mejor entendimiento de las variables explicativas del fenómeno (Smith & Romero, 2016).

Figura 6: Comportamiento diurno y nocturno de la ICU e ICUs



Fuente: Sarricolea (2012)

Los estudios iniciales conducidos por la Organización Meteorológica Mundial (1984) y Oke (1982) revelaron que el efecto de la isla de calor urbana podría aumentar la temperatura del aire en una ciudad entre 2° a 8°C; estudios más recientes, han situado el rango de aumento entre 5° y 15° C (Santamouris, 2013 citado en Mohajerani et al., 2017; Debbage & Shepherd, 2015; Romero & Sarricolea, 2010). Una muestra de este escenario se puede constatar en el trabajo de Yang et al. (2016), quien señala los efectos de la ICU en algunas ciudades de China, a saber, en Beijing y Shanghái, donde la intensidad de la isla de calor urbana alcanza los 3,3°C y 7,4°C respectivamente; además indica que en ciudades como Nueva York la ICU llega a los 7,8°C. Para el caso de ciudades latinoamericanas se puede observar el trabajo de Jáuregui (citado en Romero & Sarricolea, 2010) para Ciudad de México, donde la ICU alcanza los 7,8°C; mientras que Ángel et al. (2010), determinó que la temperatura en la ciudad de Bogotá es 3°C superior a la de su periferia rural.

En el caso de Santiago, los primeros estudios sobre la ICU fueron desarrollados por Aceituno y Ulriksen (1981) quienes realizaron transectos térmicos nocturnos con automóvil, detectando un núcleo cálido conformado por las zonas de mayor densidad residencial, comercial, industrial y vehicular; su trabajo evidenció una diferencia de 3°C a 4°C entre el centro de la ciudad y su periferia. Posteriormente Salinas (1982) midió diferencias de temperaturas nocturnas del aire mayores a 10° C entre el centro y el entorno suburbano de Santiago. Luego de dos décadas, Molina (2007) realizó nuevos transectos, siendo los resultados similares a los obtenidos en décadas pasadas; a diferencia de la investigación pasada esta vez se realizaron transectos en tres momentos del día (10:30, 14:30 y 22:30 horas) y además se correlacionaron los resultados con los usos de suelo (Capelli et al., 2001 & Sarricolea 2012).

El trabajo de Sarricolea & Martín-Vide (2013) profundiza el estudio del fenómeno en Santiago pues su investigación establece la máxima intensidad del fenómeno, tanto en mes, hora, estación del año y condición sinóptica; para dar cuenta de ello determinaron la ICU a partir de las diferencias térmicas de los observatorios de Talagante y Cerrillos. Los resultados obtenidos indican que la isla de calor urbana promedio es mayor a las 0:00 horas y es más intensa durante en primavera con 9,6°C y en verano con 9,4°C. Para el caso de la ICUs, Sarricolea & Martín-Vide (2014), determinan que en Santiago es más intensa durante el verano. Los autores calculan la intensidad de la ICUs tomando como referencia los valores termométricos de Pirque; los resultados determinaron que la mayor intensidad de la ICU toma lugar en Providencia durante el otoño, donde llega a los 4,95°C; mientras que en verano alcanza los 4,39°C.

2.1.2 Impactos generados

El efecto producido por la isla de calor urbana tiene importantes consecuencias en la habitabilidad de las ciudades, ya que ambientes urbanos más cálidos traen consigo un número significativos de problemas, entre ellos se incluye: el incremento del estrés térmico en los residentes, principalmente en aquellas áreas donde existe una mayor edificación, menor nivel de vegetación y por tanto, tasas de impermeabilización mayores; este

discomfort térmico se traduce en una merma en la calidad de vida de las personas (Romero & Molina, 2008; Debbage & Shepard, 2015; Sepúlveda, 2016). Un significativo aumento del nivel y riesgo de morbilidad o enfermedades debido a la severidad de las olas de calor (Debbage & Shepard, 2015; Mohajerani et al, 2017). Incremento en la demanda y por consiguiente en el costo de energía asociado al enfriamiento en verano y la calefacción en invierno (Santamouris, 2013; Mohajerani et al, 2017). Formación de grandes cantidades de smog y convergencia de aire con materiales contaminantes (Dióxido de Carbono (CO₂), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Dióxido de Azufre (SO₂) y Ozono (O₃)), lo que repercute en la degradación de la calidad del aire (Romero & Molina, 2008; Romero et al, 2010; Santamouris, 2013)

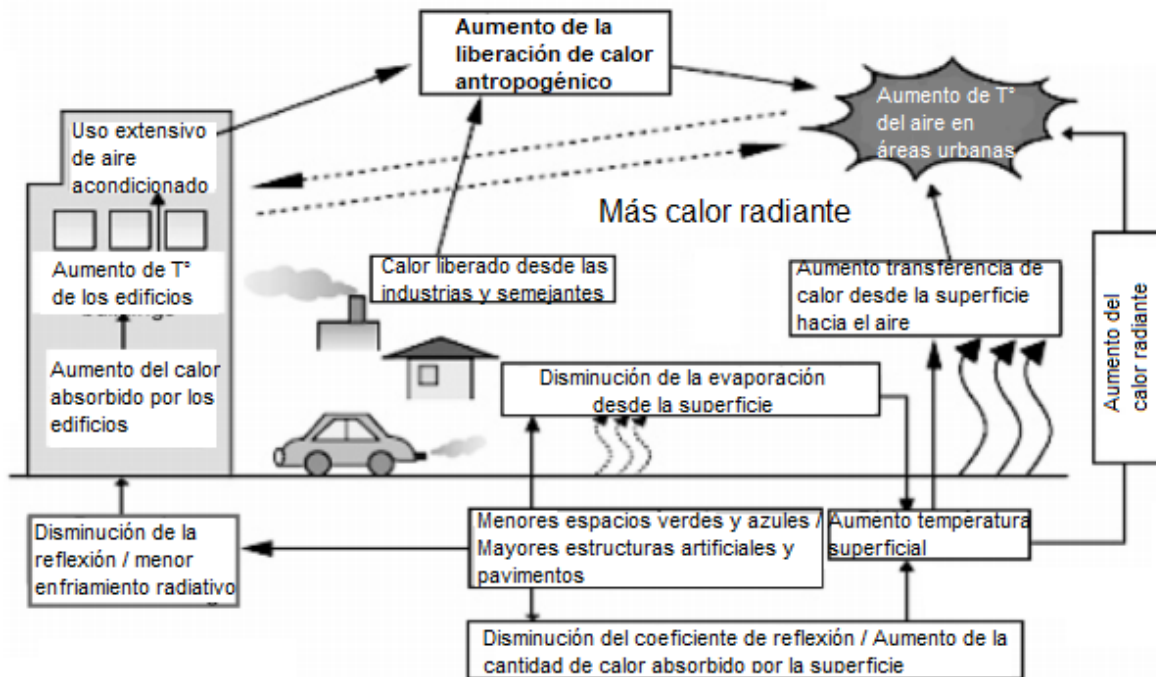
De esta manera, se puede establecer que los impactos generados por la isla de calor tienen múltiples manifestaciones en el territorio, por lo que es posible abordar el fenómeno desde diferentes vertientes. Una de las aproximaciones más recurrente en la literatura consultada, es aquella que aborda los efectos negativos de la ICU sobre la salud de los ecosistemas urbanos, este tópico es particularmente importante debido a las repercusiones que tiene en el deterioro del bienestar humano al interior de las ciudades. En este sentido, la ICU se configura como una amenaza real para las personas, así lo entienden Debbage & Shepherd (2015) quienes señalan que el incremento de las temperaturas en las ciudades afecta directamente la salud de las personas, esto porque propicia condiciones para el surgimiento e intensificación de las olas de calor, las cuales son causantes de un amplio rango de problemas a la salud, y en situaciones extremas pueden causar un importante número de muertes. Un ejemplo del escenario expuesto por los autores mencionados toma lugar en Japón, país que durante el transcurso del 2018 ha sido azotado con intensas olas de calor, registrando una temperatura máxima histórica de 41,1°C, lo que ha repercutido en graves problemas en la salud de población, pues más de 80 personas han muerto y otras 22.647 personas han tenido que recibir atención médica, lo que representa cifras sin precedentes para el país. La Agencia Meteorológica de Japón ha declarado el alza de temperatura como un desastre natural por su capacidad para erigirse como un peligro para la vida (Cooperativa, 2018; Withnall, 2018).

2.1.3 Causas que originan el surgimiento de la ICU y de la ICUs

La literatura consultada es clara en señalar que la causa más influyente en la generación de la ICU e ICUs es la urbanización, pues el intenso incremento de este proceso de carácter antrópico ha propiciado un alza sostenida de la temperatura superficial en las ciudades. La urbanización, según Sarricolea (2012, pág. 6) *“Altera los balances de radiación, las características y las propiedades térmicas de la superficie, la humedad y los vientos y; por lo tanto, se rompen los equilibrios naturales tanto de balances de energía como hidrológico”*. Estos impactos causados por la ICU se pueden explicar a partir de múltiples factores contribuyentes, entre los que se encuentran: expansión y densificación de las ciudades, que además generan una mayor rugosidad en el paisaje por la presencia de edificios; sustitución de las cubiertas vegetales y de los suelos permeables (que generan una mayor evaporación y humedad relativa del aire) por materiales de bajo albedo con alta capacidad de absorción

calórica, y el aumento de la población urbana, con la consiguiente producción de calor antrópico generado por sus actividades. En adición, se deben considerar las particularidades geográficas de los territorios donde se desarrollan las ciudades, en ese sentido, cobran relevancia las características orográficas, que pueden invertir la movilidad y mezcla de las masas de aire, tal como sucede en cuencas cerradas; por último las condiciones atmosféricas sinópticas es otro factor explicativo al favorecer la ocurrencia de inversiones térmicas o de tiempos meteorológicos caracterizados principalmente por vientos débiles (Smith & Romero, 2016) .

Figura 7: Formación de la isla de calor urbana



Fuente: Mohajerani et al. (2017) (traducción libre)

En términos de la expansión urbana, Stone et al. (2010) en su trabajo establece una correlación entre el tamaño de la ciudad y su susceptibilidad a experimentar problemas vinculados al incremento del calor, es así como concluye que son las ciudades más extensas las que tienden a experimentar de manera más frecuente eventos extremos de olas de calor. La tendencia a la expansión urbana es un escenario que diversos estudios advierten se mantendrá constante en el tiempo, lo que naturalmente se manifestará, entre otras cosas, en un aumento importante de la población urbana. Naciones Unidas proyecta que para el año 2050 el 67% de la población mundial será población urbana (Debbage & Shepperd, 2015). Este escenario no sólo implica una constante disminución y fragmentación de las superficies naturales, sino que también un alza sostenida en la producción del calor antrópico.

La contribución del calor antrópico a la ICU se puede dividir entre el calor que se genera por el tráfico en las calles y carreteras, y el calor generado por el uso de aparatos y sistemas vinculados al funcionamiento de los edificios, con especial énfasis en aquellos relacionados con la calefacción y el enfriamiento (Palme et al. 2016; Razzaghmanesh et al., 2016; Mohajerani et al., 2017). De estos factores, se considerará como el más importante el sistema de aire acondicionado producto de su relación con la naturaleza del efecto de la isla de calor. Grimmond, 2007 citado en Mohajerani et al., 2017 señala que, si bien el aire acondicionado es un medio eficaz en la tarea de aumentar el confort humano, inherentemente genera un mayor nivel de calor en la ciudad. De manera que, si se considera el gran número de edificios y estructuras que requieren de sistemas de aire acondicionado para su funcionamiento, se proyecta un escenario en donde el clima urbano será cada vez más caliente, creando una mayor disconformidad térmica, más emisiones de gases de efecto invernadero y por lo tanto mayor perjuicio al bienestar humano (Mohajerani et al., 2017; Rossi et al., 2014)

Íntimamente vinculado al punto anterior, se establece que la necesidad de sistemas de enfriamiento dentro de la ciudad se encuentra directamente influenciada por la reducción en la presencia de coberturas vegetales o espacios verdes, los que han sido reemplazados por materiales de bajo albedo y de alta capacidad de absorción de calor. La mayor prevalencia de superficies oscuras que cubren la ciudad, como aquellas que se encuentran en los materiales de construcción de la red de calles, carreteras y edificios, contribuyen significativamente al fenómeno de la isla de calor (Mohajerani et al., 2017; Razzaghmanesh et al., 2016). Las características hidráulicas, térmicas y en materia de emisión de radiación de los materiales usados en la construcción de las ciudades son completamente diferentes a las que poseen el suelo natural, la vegetación y el agua (Grimmond, 2007 citado en Mohajerani et al., 2017) por lo que la sustitución de espacios verdes por espacios construidos impactará en los ecosistemas urbanos generándose impactos de carácter negativo sobre la regulación de la temperatura atmosférica y superficial en la ciudad, aumentando el desequilibrio en el flujo de energía lo que decantará en la creación de la isla de calor urbana, (Romero & Sarricolea, 2010; Palme et al., 2016).

Al igual que Stone et al. (2010), Romero & Sarricolea (2010) postulan que el impacto de la isla de calor será más pronunciado en la medida que la ciudad se siga expandiendo, más aún si lo hace de forma desmedida y sin ninguna planificación. Por lo que, siguiendo lo señalado por Debbage & Shepherd (2015), los trabajos sobre este tópico deben orientarse a encontrar el punto de intersección entre urbanización, clima urbano y bienestar humano; para ello se considerará fundamental la planificación de medidas que apunten al cuidado, mejora y restauración de los ecosistemas que se insertan en la ciudad.

2.2 Infraestructura verde (IV)

2.2.1 Definición del concepto

Una de las medidas más utilizadas para hacer frente a los impactos de la ICU y la ICUs es el aumento de la presencia de los espacios verdes al interior de las ciudades. Los espacios verdes (o infraestructura verde) pueden generar distintas contribuciones positivas a los ambientes urbanos a través de una amplia gama de beneficios, destacando entre ellos la reducción de la temperatura del aire; convirtiéndose así en una medida efectiva para mitigar el efecto de la isla de calor en la ciudad (Vásquez, 2016; Sun & Chen, 2017; Park et al., 2017).

El término infraestructura verde puede ser utilizado como sinónimo de espacios verdes o áreas verdes, por lo que dependiendo del contexto puede adoptar diferentes significados. Sin embargo, el concepto infraestructura verde se utiliza para situar a los espacios verdes urbanos como una entidad coherentemente planeada (Sandström, 2002 citado en Tzoulas et al., 2007), es por esta razón que, al hablar de infraestructura verde se hace referencia a estructuras, sistemas o redes encargadas de dar soporte a las actividades humanas sobre el territorio. Al igual que la infraestructura urbana provee servicios y funciones necesarias para la vida en la ciudad (como una red de agua potable y alcantarillado, sistema colector de manejo de aguas lluvia, etc.) la IV se concebirá como una red que cumpla algunas de las funciones y servicios, o bien que ofrezca al mismo tiempo varias de estas funciones vitales para las ciudades (Suarez et al., 2011, Benedict & McMahon, 2002; Vásquez, 2016). Entender de esta manera la IV implica un cambio en la manera de abordar este tópico, pues como señala Vásquez (2016) se deja de considerar los espacios verdes disponibles en la ciudad como simplemente tierras vacantes que aún no han sido urbanizadas y que se encuentran a la espera de serlo; esta visión prima mayormente en localizaciones de carácter periféricas. Actualmente cada vez más se reconoce la infraestructura verde como una tipología de uso por sí misma, caracterizada por su rol multifuncional y beneficios sociales, económicos y ecológicos.

Si bien el término infraestructura verde es relativamente nuevo, la idea no lo es, ya que esta se remonta hacia el final del siglo XIX. La primera aproximación hacia el concepto es entregada en 1903 por el Arquitecto paisajista Frederick Law Olmsted, quien señaló que *“sin importar el tamaño o el diseño de un parque, este, por sí mismo no podrá proveer a la población de los beneficios que brinda la naturaleza en su conjunto, por tal razón se deberá pensar en un sistema de parques interconectados alrededor de los barrios”* (Benedict & McMahon, 2006, pág. 8). A pesar de que esta idea se remonta hace más de cien años atrás, Vásquez (2016) señala que solo durante la última década la IV aparece con fuerza dentro de la planificación de ambientes urbanos.

Definiciones más actuales han progresivamente enriquecido el concepto y el alcance de lo que significa infraestructura verde, enfatizando en mayor medida en su capacidad multifuncional como proveedor de servicios a las personas y el ambiente. Pulighe et al.

(2016) realiza una recopilación de definiciones actuales del término IV, las cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2: Definiciones de infraestructura verde

Autor	Descripción
Sandström (2002)	Los espacios verdes urbanos (incluyendo las aguas subterráneas y superficiales) con funciones multipropósito tienen la misma dignidad que la “infraestructura tecnológica” en la planificación urbana tradicional
Benedict & McMahon (2006)	Una red interconectada de áreas naturales y otros espacios abiertos que conservan los valores y funciones de los ecosistemas naturales, mantienen el agua y el aire limpio y proveen un amplio abanico de beneficios para las personas y la vida natural.
Ahern (2007)	Infraestructura verde urbana es un concepto en evolución que provee funciones abióticas, bióticas y culturales en apoyo a la sostenibilidad. La infraestructura verde provee funciones ecológicas y une áreas verdes con la construcción de infraestructura
Tzoulas et al. (2007)	Todas las redes naturales, semi-naturales y artificiales de sistemas ecológicos multifuncionales dentro, alrededor y entre áreas urbanas, en cualquier escala espacial
Forest Research (2010)	Infraestructura verde se refiere a la combinación de estructuras, posiciones, conectividad y tipos de espacios verdes los cuales juntos permiten la entrega de múltiples beneficios, así como de bienes y servicios. Es importante considerar la IV de manera holística tanto en el paisaje como a escala de sitio individual.
European Environment Agency (2011)	Infraestructura verde es un concepto asociado a la conectividad de ecosistemas, su protección y la provisión de servicios ecosistémicos, al mismo tiempo que aborda la mitigación y la adaptación al cambio climático. La infraestructura verde ayuda a garantizar la provisión sostenible de bienes y servicios de los ecosistemas, mientras aumenta la resiliencia de los ecosistemas
Unión Europea (2014)	La infraestructura verde puede definirse, en términos generales, como una red estratégicamente planificada de zonas naturales y seminaturales de alta calidad con otros elementos medioambientales, diseñada y gestionada para proporcionar un amplio abanico de servicios ecosistémicos y proteger la biodiversidad tanto de los asentamientos rurales como urbanos

Fuente: Pulighe et al. (2016) & Unión Europea (2014).

A partir de las definiciones expuestas en la tabla 2 es posible observar como el concepto ha ido progresivamente ampliando su significado, por lo tanto, la consideración de los elementos que pueden ser o no considerados como parte de la IV ha aumentado, diversificado y complejizado. Por ejemplo, con relación al último punto, actualmente no todos los espacios verdes son posibles de considerar como IV solo aquellos de alta calidad

en términos de provisión de servicios y que formen parte integrante de una red interconectada. (Unión Europea, 2014; Vásquez, 2016).

2.2.2 Tipos de Infraestructura Verde

Las expresiones materiales que puede tener la infraestructura verde son múltiples y cambian de acuerdo con los propósitos, el nivel de tecnología y las escalas involucradas (tabla 3). Por ejemplo, algunos se referirán a los árboles en áreas urbanas como IV, mientras que otros usarán el término para referirse a obras ingenieriles que están diseñadas para ser amigables con el medioambiente (Benedict & McMahon, 2002; Vásquez, 2016).

Tabla 3: Tipos de infraestructura verde

Escala de barrio	Escala ciudad	Escala regional
Calles arboladas	Ríos y llanuras de inundación	Áreas silvestres protegidas
Techos y paredes verdes	Parques intercomunales	Parques nacionales
Plazas de barrio	Canales urbanos	Bordes costeros y playas
Jardines privados	Lagunas	Senderos estratégicos y de larga distancia
Espacios abiertos institucionales	Bosques urbanos	Bosques
Estanques y arroyos	Parques naturales	Fajas de resguardo en líneas de alta tensión
Derechos de pasos de caminos	Frentes de agua continuo	Red de carretera y ferrocarriles
Peatonales y ciclo rutas	Plazas municipales	Cinturón verde designado
Cementerios	Cerros	Tierras agrícolas
Pistas deportivas	Grandes espacios recreativos	Ríos y llanuras de inundación
Zanjas de inundación	Esteros	Canales
Pequeños bosques	Terrenos abandonados	Campo abierto
Áreas de juegos	Bosques comunitarios	Cordones montañosos
Quebradas	Sitios mineros en abandono	Territorio de propiedad común
Patios de escuela	Tierras agrícolas	Acueductos y gaseoductos
Huertos	Vertederos	Fallas geológicas

Terrenos abandonados	Lagos
----------------------	-------

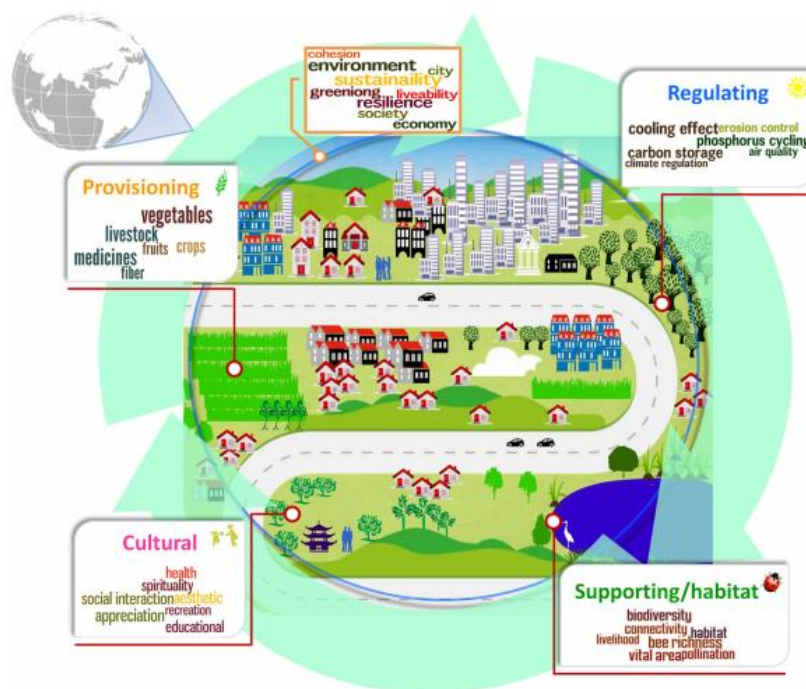
Fuente: Vaques (2016)

2.2.3 Beneficios proporcionados por la Infraestructura Verde

Diferentes autores señalan que, cada vez más los investigadores, las agencias de gobiernos y las diferentes organizaciones se encuentran activamente promoviendo la expansión de la infraestructura verde en las ciudades, debido al impacto positivo que generan en el bienestar de las personas y en el ambiente. Una de las principales razones para promover el uso de la IV es su multifuncionalidad, por lo que su capacidad de poder realizar diferentes funciones le otorga una amplia gama de ventajas sobre la mayoría de las infraestructuras grises que suelen tener un único objetivo. Esta característica ha convertido a la infraestructura verde en la mayor estrategia utilizada para aumentar la sostenibilidad y la resiliencia de las ciudades (Unión Europea, 2014; Meeros & Newell, 2017).

La multifuncionalidad de la infraestructura verde se traduce en la provisión de una variedad de beneficios sociales, económicos y ecológicos que frecuentemente son desconocidos por la población; estos beneficios suelen ser entendidos y clasificados dentro del marco de referencia entregado por los servicios ecosistémicos (SE); estos se definen como los beneficios que obtiene la población humana directa o indirectamente desde los ecosistemas (MEA, 2005; Barot et al., 2017). Lo medular que subyace en el concepto de servicios ecosistémicos es la idea que los seres humanos dependen estrechamente de los ecosistemas naturales que hospedan.

Figura 8: Servicios ecosistémicos provistos a nivel de ciudad



Fuente: Pulighe et al., 2016

La obtención de servicios ecosistémicos se suele asociar a la infraestructura verde como parques, bosques urbanos, cementerios, plazas, jardines o patios, etc., pero también es posible obtenerlos desde los espacios azules, los cuales incluyen: ríos, riachuelos, lagos, estanques, cenagales artificiales, estanques de retención de agua lluvias, etc. (Pulighe et al., 2016)

La literatura ha catalogado extensivamente estos servicios (a partir de la publicación de Millennium Ecosystem assessment en 2005) dentro de cuatro grandes categorías, estas son: servicios de provisión, servicios de regulación, servicios de soporte y servicios culturales (Suarez et al., 2011; Elmqvist et al., 2015; Vásquez, 2016; Meeros & Newell, 2017). A pesar que esta clasificación es la más difundida, Vásquez (2016) señala que en la actualidad existe un debate respecto a la clasificación de los servicios ecosistémicos que pueden considerarse como tal, ya que algunos autores consideran que ciertos servicios deberían ser considerados como funciones ecosistémicas, como es el caso de la regulación de nutrientes pues no reportan un beneficio directo a la sociedad, a diferencia, por ejemplo, de servicios como la purificación de aire y agua, caso en donde los beneficios sociales resultan evidentes. La tabla 4 presenta aquellos servicios ecosistémicos agrupados en la clasificación propuesta por Millennium Ecosystem assessment en 2005.

Tabla 4: Tipos de Servicios Ecosistémicos (SE)

Servicios de regulación	Servicios de provisión	Servicios culturales	Servicios de soporte
Regulación de clima local	Cultivos	Recreación, turismo y ecoturismo	Formación de suelo
Regulación de la calidad del aire	Forraje	Inspiración y belleza escénica	Fotosíntesis
Infiltración y drenaje de aguas	Ganado	Conocimiento de los sistemas	Producción primaria
Purificación de aguas	Fibra	Experiencia espiritual y religiosa	Ciclo de Nutrientes
Regulación de la erosión	Madera	Patrimonio y diversidad cultural	Ciclo del agua
Protección ante riesgos naturales	Leña	Patrimonio natural y biodiversidad	
Polinización	Acuicultura	Valor educativo	
Control de plagas y enfermedades	Alimentos y vegetación	Integración social	
Descomposición de orgánicos	Medicamentos y bioquímicos	Salud mental y física de personas	
Reducción del ruido	Agua fresca y potable		

Regulación de gases (+O ₂ y -CO ₂)	Recursos minerales		
Secuestro de carbono	Recursos energéticos abióticos		
Provisión de hábitat	Recursos genéticos		

Fuente Vásquez (2016)

Meerow & Newell (2017) señalan que la literatura habitualmente suele incorporar otros cinco beneficios adicionales de los ecosistemas, entre ellos se encuentran: la mejora en la calidad del aire, aumento en el acceso a los espacios verdes, mejora en las comunidades y reducción de la vulnerabilidad social, aumento en la conectividad de paisaje y el más relevante para este trabajo, la mitigación de la isla de calor.

Por lo expuesto anteriormente, es que el presente trabajo busca encontrar el punto de intersección entre isla de calor urbana, infraestructura verde y servicios ecosistémicos. De manera que el concepto que subyace la articulación de estos conceptos es la mitigación del efecto de la ICUs a través del efecto enfriador suministrado por la infraestructura verde.

2.3 Planificación de infraestructura verde para la reducción de la isla de calor

En la actualidad nos encontramos en una era en donde la ecología del planeta en su conjunto está siendo mayormente influenciada por las actividades humanas, una muestra de ello es que el desarrollo de las ciudades es uno de los principales causantes de la desaparición y fragmentación de los ecosistemas (Elmqvist et al., 2015). La disminución de los ecosistemas naturales traerá como consecuencia, entre otras manifestaciones, una merma general de la capacidad que puede tener un territorio para moderar la temperatura del aire, teniendo especial consideración en la evapotranspiración y la producción de sombra asociada a la vegetación (Vásquez, 2016).

La infraestructura verde es usada comúnmente para abordar los impactos generados por las islas de calor y otros problemas ambientales, debido a sus altos niveles de evapotranspiración en comparación con las superficies impermeables; se estima que anualmente la evapotranspiración global consume el 22% de la insolación disponible en la parte superior de la atmósfera terrestre (Gunawardena et al., 2017). Es sabido que la presencia de vegetación afecta el balance energético en las ciudades, influenciando de manera importante el microclima. La presencia de infraestructura verde mitiga el efecto de la isla de calor, básicamente al proporcionar un efecto enfriador a los ambientes urbanos. Smith & Romero (2016) señalan que la producción de sombras por parte de los árboles enfría el aire, reduce la velocidad del viento y transforma el calor sensible en calor latente, lo que demuestra la importancia del follaje de los árboles; la contribución de la IV puede disminuir entre 1,5°C y 4°C la temperatura atmosférica en una tarde de verano. De manera que se crean zonas más frías al interior de las ciudades en comparación a aquellas áreas calentadas directamente por la radiación solar. La existencia de zonas más frías, en donde se encontrará localizada la infraestructura verde, se convertirá en una medida para efectuar una mejora en las condiciones del microclima y el bienestar humano; es por esta razón que

es primordial entender la influencia que puede generar la infraestructura verde dentro de la variabilidad de la temperatura del aire (Sun & Chen, 2017; Park et al., 2017).

Ante suelos urbanos tan consolidados y la necesidad de contar con mayores espacios verdes y de más calidad, los sitios eriazos disponibles cobran relevancia. Es común encontrar en la literatura múltiples conceptos para dar cuenta de estos espacios, entre ellos se encuentran: lotes, sitios, predios vacíos, espacios vacantes, espacios inutilizados, terrenos baldíos e intersticios. Un término más coloquial utilizado ampliamente en el país es “peladero”. Todos estos se combinan y utilizan de forma indistinta conforme las motivaciones del autor. Rivera (2016) señala que estos conceptos poseen una carga peyorativa al aludir a terrenos que presentan un bajo nivel de confort bioclimático, principalmente al tratarse de espacios desprovistos de cobertura vegetal, localizados, preferentemente, en sectores periféricos con bajo valor de renta de suelo, cuyo paisaje se conforma de tierra, barro y basura. Sin embargo, también llevan implícitamente una expectativa de ser utilizado, de asignar una actividad aún no desarrollada. Por lo tanto, se establece, que estos espacios albergan dos percepciones; una negativa, relacionada al estado actual de abandono en el que se encuentra y, una positiva, vinculada al potencial aprovechamiento de este espacio, a una oportunidad de regeneración urbana. Dicho esto, por sitio eriazo se entiende a todos aquellos “*espacios urbanos en desuso o infrautilizados cuyas condiciones físicas e inmateriales propicien un eventual proceso de regeneración, que permita aprovechar su actividad potencial y constituirse en un soporte a las dinámicas de la ciudad*” (Rivera, 2016, p. 18).

Al situar la importancia de la infraestructura verde dentro del actual contexto climático, Vásquez (2016) señala que la infraestructura verde contribuye de dos maneras a enfrentar el cambio climático, en primer lugar, aumentando el nivel de resiliencia de las ciudades y en segundo lugar, aumentando la provisión de servicios ecosistémicos que permitan enfrentar aspectos específicos relacionados con el cambio climático, por ejemplo y como se ha señalado en reiteradas ocasiones, regular la temperatura, lo que puede reducir considerablemente la energía usada para enfriamiento en verano y calefacción en invierno. Naturalmente la mitigación de la isla de calor urbana e isla de calor urbana superficial queda contenida dentro de este proceso.

La provisión de servicios ecosistémicos toma mayor relevancia pues hoy en día, a la par con la disminución de la capacidad de los ecosistemas de proveer SE en ambientes urbanos, existe un aumento en la necesidad y demanda por dichas funciones, lo que según Vásquez (2016) se traduce en una paradoja. Elmqvist et al. (2015) señala que en las ciudades la demanda y uso de SE es intensa principalmente debido a la gran cantidad de beneficiarios inmediatos a nivel local. Es por esta razón que los servicios ecosistémicos deben integrarse a las decisiones de planificación del espacio, según Small et al. (2017).

Por lo expresado anteriormente, es que es deseable y necesaria, en términos ecológicos y sociales, la restauración, conservación y mejora de los ecosistemas en las ciudades; además es económicamente viable. Los beneficiarios pueden ser apropiadamente

cuantificados y reconocidos, lo cual constituye una información esencial para añadirla en el proceso de toma de decisiones relacionadas al uso de suelo y planificación del territorio.

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Estructura metodológica general

El presente trabajo corresponde a un estudio de caso, Durán (2012, pág.121) señala que estos corresponden a *“una forma de abordar un hecho, fenómeno, acontecimiento o situación particular de manera profunda y en su contexto, lo que permite una mayor comprensión de su complejidad y, por lo tanto, el mayor aprendizaje del caso en estudio”*. Así mismo, señala que estos estudios pueden contribuir a materializar cambios importantes ya sea en el ámbito de la política y de la práctica.

En este trabajo, se observó las respuestas térmicas de las superficies de las distintas comunas del pericentro sur, durante el verano del 2017 (que se establece como uno de los más cálidos registrados). También se simuló la variación de la temperatura superficial (en el día de mayor temperatura del aire, registrado por estaciones meteorológicas) en la medida que se aumenta la cantidad de vegetación, la figura 9 da cuenta de los distintos procedimientos que se llevaron a cabo. El uso de la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) fue menester para elaborar información fiable y actualizada que pueda ser insumo para la toma de decisiones responsables (Borrás et al., 2017)

Figura 9: Esquema metodológico general

Objetivos	Proceso realizado	Resultados esperados
Obj 1: Identificar espacios verdes y sitios eriazos	-Fotointerpretación en <i>ArcGis</i>	-Reconocer la configuración actual del área de estudio, en términos de espacios verdes, sitios eriazos y superficies urbanas. -Generar información vectorial.
Obj 2: Analizar la ICUs en el área de estudio	-Determinación de temperatura superficial en <i>Google Earth Engine</i>	-Conocer la respuesta térmica del área de estudio de acuerdo a la configuración actual del paisaje. -Diferenciar la temperatura emitida según las diferentes superficies analizadas.
Obj 3: Modelar el efecto enfriador al crear nuevos espacios verdes	-Simular un espacio verde en los sitios eriazos detectados usando <i>ENVI-met</i>	-Determinar la respuesta térmica cambiando la configuración actual de paisaje, convirtiendo sitios eriazos en espacios verdes.

Fuente: Elaboración propia

3.2 Fase metodológica I: Identificación de espacios verdes y sitios eriazos

Se utilizó el *software ArcGis*, en su versión 10.6 para generar información vectorial de la infraestructura verde disponible y los sitios eriazos. Se realizó una clasificación de las coberturas de suelo del área de estudio; una clasificación tiene por objetivo agrupar un conjunto de objetos en categorías representativas, según los objetivos del autor; en este caso, se optó por utilizar un indicador biofísico que describe los materiales que cubren el territorio (Borrás et al., 2017).

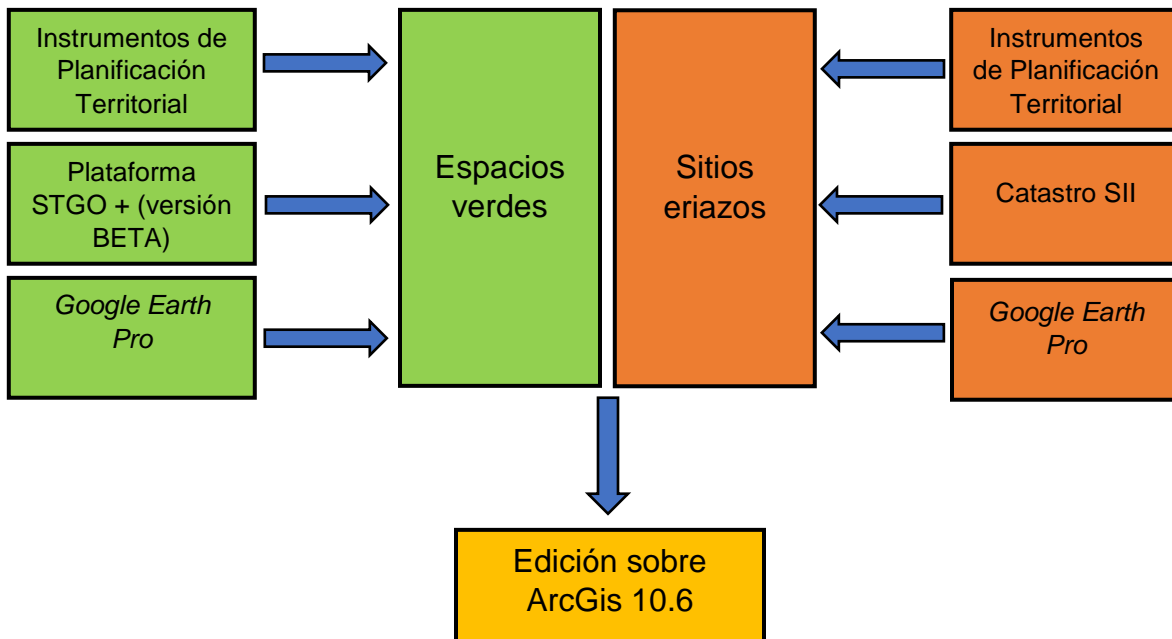
Una buena clasificación de cobertura de suelo deberá representar la realidad de la manera más exacta posible, para ello existen dos maneras de llevar a cabo el procedimiento: la fotointerpretación, la cual es una tarea que requiere un alto grado de intervención humana pues es un proceso de reconocimiento llevado a cabo por un especialista en el tema a clasificar; el usuario examina imágenes satelitales con el propósito de identificar objetos y juzgar su significado, creando categorías o clases en el proceso y la clasificación supervisada, en ella se convierten los datos cuantitativos similares de una imagen satelital (nivel digital² de los pixeles de cada banda espectral) en datos cualitativos (clases o categorías sobre un tópico específico) a partir de áreas o puntos de entrenamientos (Arango et al., 2005; Borrás et al., 2017 & Lizarazo, 2008).

En el presente trabajo se empleó la fotointerpretación, este proceso fue principalmente guiado por el *software Google Earth Pro*, de igual forma se consideraron otras fuentes de información (figura 10), a saber: Instrumentos de Planificación Territorial a nivel comunal, inventario de espacios verdes de la plataforma STGO+ (Grupo Paisaje FAU, MINVU y SEREMI-MINVU) y el catastro de sitios eriazos del Servicio de Impuestos Internos (SII) del año 2015.

De acuerdo con la tabla 3, la infraestructura verde toma múltiples expresiones y es posible categorizarlas según diferentes escalas espaciales; para este trabajo se trabajó a escala de barrio y se optó por diferenciar los espacios verdes que componen el paisaje del área de estudio en base a la naturaleza de estos, ya sean públicos o privados. Se utiliza esta diferenciación teniendo en cuenta el marco de referencia proporcionado por la infraestructura verde, de manera que, se identificó aquellos espacios verdes planeados (públicos) que dan soporte a las actividades humanas en ambientes urbanos, y también se reconoció aquellos espacios, cuyo surgimiento responde a otras lógicas (privados), pero que de igual forma pueden actuar como una fuente de provisión de servicios ecosistémicos.

²Una imagen satelital en bruto contiene unos valores numéricos denominados niveles digitales (ND), estos corresponden a una conversión digital (mediante una ecuación lineal) de un flujo energético recibido por un sensor para una determinada banda espectral (Sosa, 2015 & Universidad de Murcia, s/f).

Figura 10: Insumos para la fotointerpretación

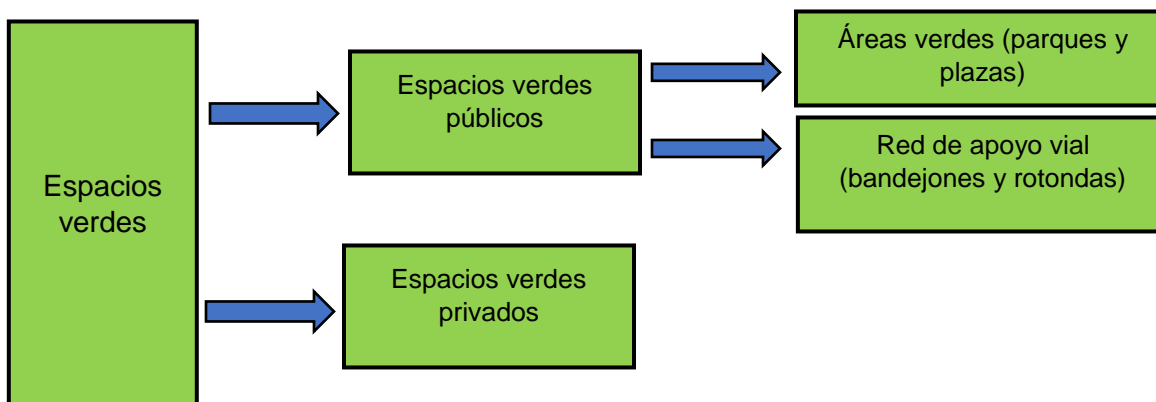


Fuente: Elaboración propia

Los espacios verdes públicos identificados se dividieron, considerando la clasificación proporcionada por Sandoval (2016), en dos tipos: áreas verdes, compuestas por parques y plazas, y elementos de apoyo a la red vial compuestos por bandejones y rotondas (figura 11); los espacios verdes públicos se encuentran definidos en la tabla 5. Es importante consignar que la tipología de áreas verdes se encuentra definida en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (Biblioteca Nacional del Congreso, 2018), y se señala que corresponde a “*superficies de terreno destinadas preferentemente al esparcimiento o circulación peatonal, generalmente se conforman por especies vegetales y otros elementos complementarios*”. Mientras que una plaza se define como un “*espacio libre de uso público destinado, entre otros, al esparcimiento y circulación peatonal*” un parque corresponde a un “*espacio libre de uso público arborizado, eventualmente dotado de instalaciones para el esparcimiento, recreación, prácticas deportivas, cultura, u otros*”.

Por su parte los espacios verdes privados identificados hacen referencia a elementos variados en su tipología, que son de propiedad privada, y que además coinciden en presentar un grado de vegetación destacable en su composición (según la fotointerpretación), este es el caso de los centros deportivos, cementerios, jardines o parques privados, hospitales, etc.

Figura 11: Clasificación de espacios verdes



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5: Definición espacios verdes públicos

Tipo de espacio	Definición
Apoyo a la red vial	
Bandejón	Superficie localizada entre calzadas, diversos en su ancho, como también en la cantidad de vegetación, pudiendo existir elementos sin nada de cubierta vegetal. Generan movilidad para las personas, permitiendo generar flujos continuos paralelos a las vías de circulación vehicular.
Rotonda	Superficie que se encuentra en algunas intersecciones de grandes avenidas con autopistas o con otras avenidas. Son de forma redondeada y de diversos tamaños, en su interior se encuentra principalmente vegetación herbácea y con poca a nula vegetación arbustiva o arbórea. Se encuentran rodeadas de vías con alto flujo vehicular.
Áreas verdes públicas	
Parque	Espacio libre de uso público arborizado, presenta diversos tamaños y formas. Presentará siempre algún grado de cobertura vegetal. Su destino principal es ser un lugar de esparcimiento y recreación de la población, adicionalmente y dependiendo del tamaño cuenta con algunos equipamientos como canchas deportivas, maquinaria de ejercicios, sedes sociales e incluso recintos de eventos.
Plaza	Área verde urbana de menor tamaño que un parque, pero asimismo de diversos tamaños y formas, son los elementos más abundantes dentro de la trama urbana y también los más cercanos entre sí. No necesariamente contienen cobertura vegetal y suelen tener algún tipo de equipamiento.

Fuente: Sandoval (2016) & Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (2018)

3.3 Fase metodológica II: Determinación de temperatura superficial

La obtención de las temperaturas superficiales es un proceso más simple, en comparación con las temperaturas atmosféricas, principalmente por la disponibilidad de sensores remotos incorporados en los satélites (Sarricolea & Martín-Vide, 2014), los cuales, registran los valores de temperatura de emisión de las cubiertas de suelo, permitiendo estimar la ICUs en áreas urbanas. Una de las fuentes primaria para el monitoreo de la Tierra (que se utilizó en este trabajo), es la serie de satélites *Landsat* (que funcionan con la radiación solar), la cual comenzó en 1972 con el lanzamiento del primer satélite, proporcionando hasta la fecha el registro continuo más largo de observaciones basadas en satélites (Gorelick et al., 2017).

El procesamiento de las imágenes *Landsat*, requiere del uso de diferentes algoritmos para obtener los valores de temperatura superficial, generalmente el proceso contempla algunas desventajas como lo es la instalación de un *software* y la descarga de datos sin procesar del satélite, lo que puede traducirse en una costosa inversión de tiempo para el usuario. El uso de plataformas en línea resuelve los inconvenientes mencionados, al proporcionar un acceso rápido y fácil a un enorme catálogo de imágenes satelitales sin requerir procesamientos previo o instalación de *software*. La plataforma *Google Earth Engine* (GEE) es capaz de determinar la temperatura superficial a partir de observaciones infrarrojas térmicas *Landsat*, para cualquier área geográfica y rango de fechas determinadas. (Parastatidis et al., 2017).

La información de las misiones *Landsat* es distribuida por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (*United States Geological Survey* o en sus siglas USGS) y están incluidas en el catálogo de datos de GEE, encontrándose datos para *Landsat* 5,7 y 8 que cuentan con banda térmica, de ellos, solo el *Landsat* 8 lleva dos bandas térmicas. La tabla 6 lista los productos disponibles para el cálculo de temperatura y como identificarlos en GEE. De la serie *Landsat*, solo el 7 y el 8 se encuentran activos, para el presente trabajo se optó por utilizar el *Landsat* 8; este satélite pasa cada 16 días por el mismo lugar y cuenta con dos sensores, ellos son: *OLI* (*Operational Land Imager*) y *TIRS* (*Thermal Infrared Sensor*), de este último se obtienen las bandas térmicas (Picone, 2017). La tabla 7 muestra que las bandas térmicas del *Landsat* 7 y 8 tienen diferentes resoluciones espaciales, teniendo el *Landsat* 7 una mayor resolución, sin embargo, esto no representa problema alguno pues existe una coherencia interna entre los diferentes sensores *Landsat*, ya que los datos adquiridos por el satélite se vuelven a muestrear a una resolución de 30m, utilizando el método de convolución cúbica, antes que el USGS los distribuya como productos (Parastatidis et al., 2017).

Tabla 6: Productos Landsat para cálculo de temperatura superficial

Data	GEE Product Identifier
Landsat 5, Radiance at sensor from band 6	LANDSAT/LT5_L1T
Landsat 5, Brightness temperature from band 6	LANDSAT/LT5_L1T_TOA_FMASK
Landsat 7, Radiance at sensor from band 6	LANDSAT/LE7_L1T
Landsat 7, Brightness temperature from band 6	LANDSAT/LE7_L1T_TOA_FMASK
Landsat 8, Radiance at sensor from band 10	LANDSAT/LC8_L1T
Landsat 8, Brightness temperature from band 10	LANDSAT/LC8_L1T_TOA_FMASK
MODIS Daily average emissivity from bands 31 and 32	MODIS/MOD11A1
NCEP/NCAR 6-hour temporal resolution of the total column water vapour from a single band	NCEP_RE/surface_wv
ASTER 1 Global image with emissivity from 2000–2008 clear-sky pixels from band 14	NASA/ASTER_GED/AG100_003
Landsat 5, Surface Reflectance product	LANDSAT/LT5_SR
Landsat 7, Surface Reflectance product	LEDAPS/LE7_L1T_SR
Landsat 8, Surface Reflectance Product	LANDSAT/LC8_SR
Fmask, from extra band in GEE's Brightness temperature products	LANDSAT/LT5_L1T_TOA_FMASK LANDSAT/LE7_L1T_TOA_FMASK LANDSAT/LC8_L1T_TOA_FMASK

Fuente: Parastatidis et al., 2017

Tabla 7: Características de las bandas termales *Landsat*

<i>Landsat</i>	Bandas termales	Longitud de onda (μm)	Resolución espacial (m)	Periodo operativo
<i>Landsat 5</i>	Banda 6	10,40 – 12,50	120 (30)	Marzo 1984 - mayo 2012
<i>Landsat 7</i>	Banda 6	10,40 – 12,50	60 (30)	Abril 1999 - Presente
<i>Landsat 8</i>	Banda 10	10,60 – 11,19	100 (30)	Abril 2013 - Presente
	Banda 11	11,50 – 12,51		

Fuente: Parastatidis et al., 2017

Los productos *Landsat* proporcionados por el USGS corresponden a imágenes de radiación infrarroja térmica rectificadas, se denominan productos de nivel 1T (*Level 1T* o L1T), y son los que se utilizaron en este trabajo. Los datos sin procesar, ni corregidos del *Landsat*, el USGS les denomina nivel 0, estos datos para ser utilizados por los usuarios deben ser rectificadas al estándar de nivel 1. Los productos L1T se encuentran disponibles en forma de colección de imágenes en el catálogo de GEE; el USGS estructura las colecciones *Landsat* en 3 categorías: Nivel 1 o *Tier 1* (T1) son datos que cumplen con los requisitos de calidad geométrica y radiométrica, Nivel 2 o *Tier 2* (T2) son datos que no cumplen con los requisitos del nivel 1 y Tiempo Real o *Real Time* (RT) son datos que aún no se han evaluado, este proceso toma alrededor de un mes.

Cada colección de nivel 1 en GEE contiene imágenes con niveles digitales que se convierten a radiancia³ o a reflectancia TOA. Las colecciones señaladas en la tabla 6, contienen niveles digitales que se convierten a radiancia, para ello GEE utiliza la información almacenada en los metadatos de las imágenes. A los datos de estas colecciones se les denomina en bruto o sin procesar. Al mismo tiempo, GEE proporciona al usuario diversos métodos específicos de procesamientos de *Landsat*, uno de ellos, es la reflectancia de la parte superior de la atmósfera (en sus siglas en inglés TOA), este método es particularmente importante pues, convierte los datos de radiancia del sensor *TIRS* en temperatura de brillo, que es la temperatura efectiva vista por el satélite bajo el supuesto de emisividad unitaria. En otras palabras, el método TOA, convierte los datos de las bandas térmicas en temperatura. El catálogo de GEE proporciona colecciones de tipo T1 TOA.

El cálculo de la temperatura superficial desde imágenes satelitales se llevó a cabo convirtiendo los valores de nivel digital en temperatura de brillo de la atmósfera, la cual se denomina en inglés como *Top of Atmosphere (TOA) Brightness Temperature*; en el presente trabajo se aplica este procedimiento para obtener valores de temperatura superficial para los meses de verano (mayor intensidad de la ICUs en Santiago) desde 2014 a 2017, enfatizando este estudio de caso para el verano 2017 (datos obtenidos entre enero y marzo) al ser un verano más cálido de lo habitual. *Google Earth Engine* no entrega en su plataforma información de la hora de obtención de los valores de temperatura, esta información se obtuvo desde la web del USGS⁴, en los metadatos de las imágenes satelitales; para el área de estudio, el *Landsat 8* pasa durante el día a las 14:33 horas. Es necesario consignar que los estudios de climatología urbana de al menos un año poseen significación climática ya que se tratan de fenómenos de carácter estructural y no coyuntural (Moreno, 1993; Lee et al., 2012, citados en Sarricolea & Martín-Vide, 2013).

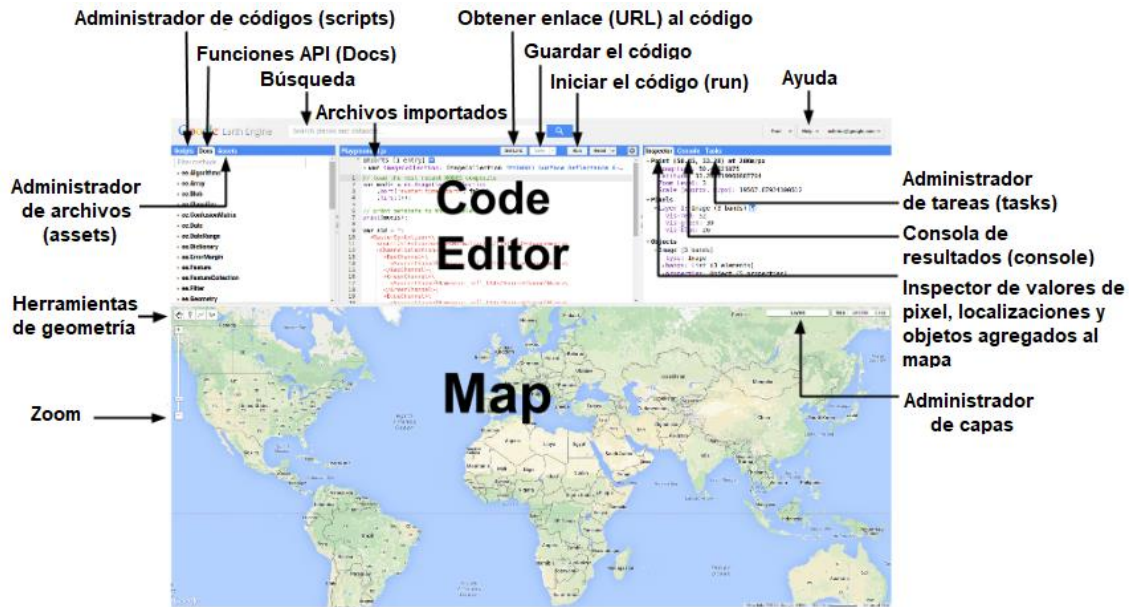
Para realizar la conversión de niveles digitales en temperatura, se utiliza el editor de códigos (*code editor*) de GEE. *Code editor* es una interfaz de programación, a estas se les conoce como API, que viene del inglés *Application Programming Interfaces*. Las API son un conjunto de comandos, funciones y protocolos informáticos que permiten a los desarrolladores crear programas específicos para ciertos sistemas operativos; esto simplifica el trabajo para los usuarios pues permite utilizar funciones predefinidas para interactuar con el sistema operativo o con otro programa (ABC, 2015). La API de GEE soporta el lenguaje de programación *Python* y *JavaScript* (GEE API, 2018). La figura 12 muestra la interfaz del *code editor* de GEE, además de señalar sus componentes.

³ Radiancia: es la magnitud básica a partir de las cuales se derivan todas las otras magnitudes radiométricas. Corresponde al flujo radiante que abandona una unidad de área en una dirección particular siguiendo un ángulo sólido particular. Su importancia radica en que es la magnitud que detecta el sensor (Gómez, 2006).

⁴ <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

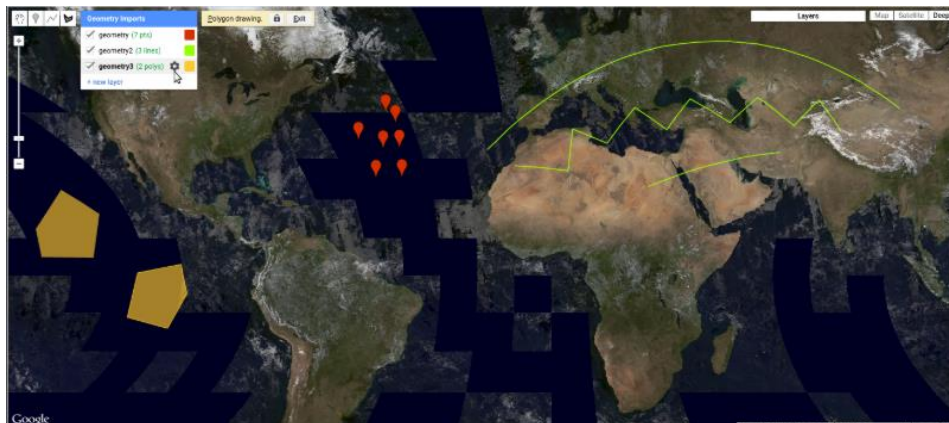
Figura 12: Componentes de Google Earth Engine code editor⁵



Fuente: GEE API, 2018

La interfaz vista en la figura 12, se compone básicamente de dos partes: del *code editor* en sí y la visualización del mapa; siendo esta última, de manejo intuitivo pues incluye herramientas a los que los usuarios de SIG están familiarizados, entre ellas: el cambio de visualización, pudiendo elegir entre la vista de mapa o satelital, acercamiento y alejamiento del mapa y las herramientas de construcción de geometrías (*geometry tools*) como lo son el dibujo de líneas y polígonos, junto con añadir marcadores. La figura 13 ejemplifica dicha sección.

Figura 13: Herramientas de geometría



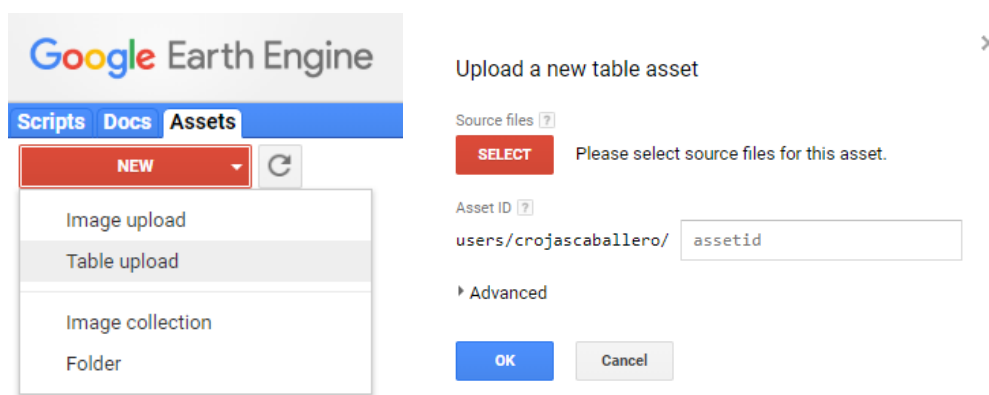
Fuente: GEE API, 2018

⁵ Disponible en: code.earthengine.google.com

La sección a la izquierda (figura 14) del *code editor* (figura 12) se compone de las pestañas *Scripts*, *Docs* y *Assets*, estas se encargan del manejo de códigos, funciones y recursos propios del usuario, respectivamente. La pestaña *Scripts* almacena y administra los códigos (*scripts*) ya sean privados, compartidos y de ejemplo, por lo que presenta varias carpetas (por defecto) donde se organizan los códigos por nivel de acceso. La pestaña *Docs* (API *documentation*) contiene las funciones para utilizar en *code editor* y una respectiva descripción de cada una de ellas. La carpeta *Assets* se utiliza para cargar y administrar las imágenes o *shapesfiles* del usuario y poder trabajarlos en GEE (GEE API, 2018).

Los valores de temperatura superficial (grados Celsius) en este trabajo se obtuvieron para los *shapesfiles* generados previamente en ArcGis, para ingresarlos se utiliza la pestaña *Table upload*, posteriormente es necesario subir los archivos del *shape* que presentan la siguiente extensión: *dbf*, *prs*, *shp*, *shx* y *sbn*. Los *shapes* a utilizar tienen como función determinar la temperatura de emisión a un nivel general (comunal) y a un nivel específico según el tipo de cobertura de suelo (plazas, parques y sitios eriazos).

Figura 14: Interfaz de la ventana *Assets*



Fuente: Elaboración propia en base a GEE

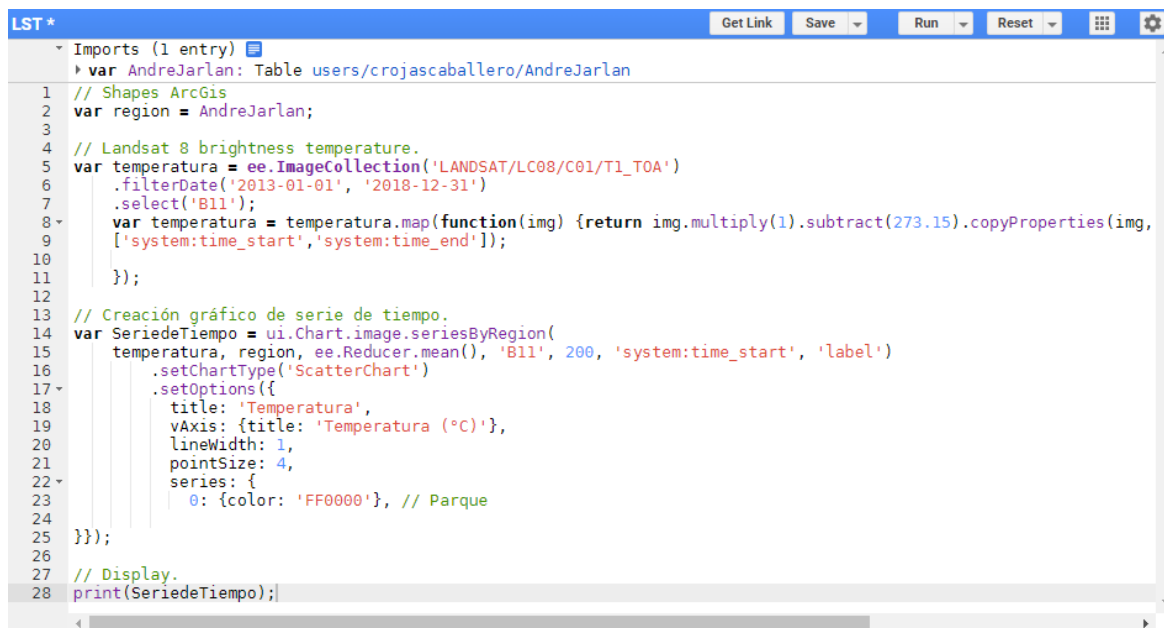
La sección a la derecha de la edición de códigos gestiona los resultados obtenidos luego de correr el editor de códigos (empleando la pestaña *Run*). La pestaña *Inspector* permite consultar interactivamente el mapa, al activarse esta pestaña se despliega información dependiendo de lo que señale el cursor. La pestaña *Console* muestra los resultados de texto, objetos o gráficos cuando se utiliza la función *print*, además es interactiva, por lo que puede expandir los objetos para obtener más detalles. La pestaña *Tasks* gestiona las tareas de exportación de archivos almacenados en la pestaña *assets* (GEE API, 2018).

Los códigos utilizados para obtener la temperatura superficial se presentan en la figura 15, se tomó como referencia la guía *Time Series in Image Regions*⁶ proveniente de la web GEE API; por defecto GEE trabaja en grados Kelvin por lo que fue necesario insertar un código para transformar los valores del resultado a grados Celsius. Algunas consideraciones para la creación de un código: para establecer una variable, se debe anteponer el comando “var”,

⁶ https://developers.google.com/earth-engine/charts_image_series_by_region

tal como está escrito, pues *JavaScript* discrimina entre mayúsculas y minúsculas; el texto rojo después del signo igual siempre debe ir entre comillas y debe finalizar en punto y coma (;) para validar la expresión; las letras verdes anteceditas por “//” le permite al usuario crear notas.

Figura 15: Códigos para obtener temperatura superficial



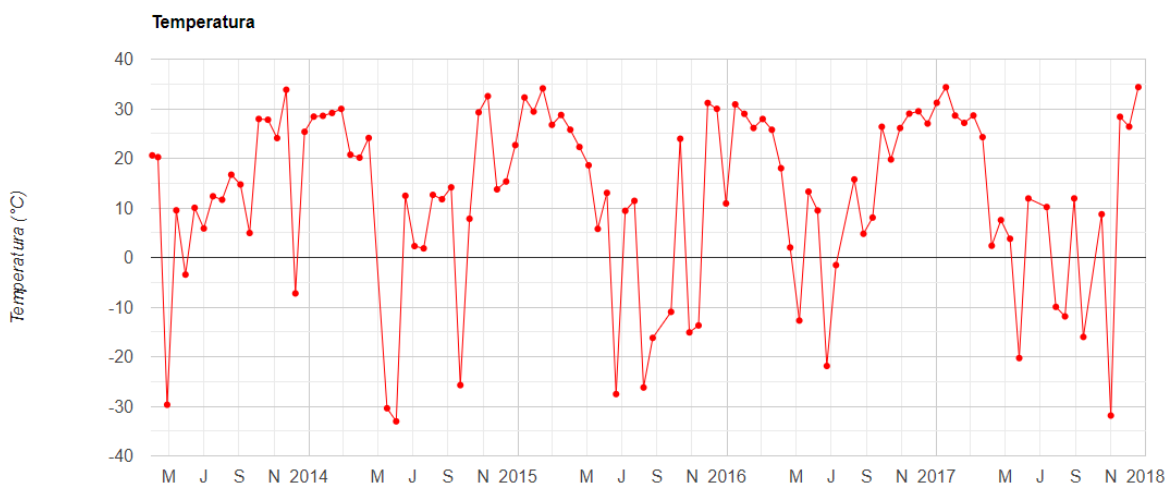
```
LST *
Imports (1 entry)
  var AndreJarlan: Table users/crojascaballero/AndreJarlan
1 // Shapes ArcGis
2 var region = AndreJarlan;
3
4 // Landsat 8 brightness temperature.
5 var temperatura = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA')
6   .filterDate('2013-01-01', '2018-12-31')
7   .select('B11');
8 var temperatura = temperatura.map(function(img) {return img.multiply(1).subtract(273.15).copyProperties(img,
9   ['system:time_start','system:time_end']);
10
11 });
12
13 // Creación gráfico de serie de tiempo.
14 var SerieDeTiempo = ui.Chart.image.seriesByRegion(
15   temperatura, region, ee.Reducer.mean(), 'B11', 200, 'system:time_start', 'label')
16   .setChartType('ScatterChart')
17   .setOptions({
18     title: 'Temperatura',
19     vAxis: {title: 'Temperatura (°C)'},
20     lineWidth: 1,
21     pointSize: 4,
22     series: {
23       0: {color: 'FF0000'}, // Parque
24     }
25   });
26
27 // Display.
28 print(SerieDeTiempo);
```

Fuente: Elaboración propia en base a GEE

Al correr GEE, un gráfico (figura 16) se muestra en la pestaña *Console* con los resultados requeridos, el cual puede ampliarse para posteriormente descargar la información, ya sea descargar el gráfico como imagen (formato PNG), archivo vectorial para uso online (formato SVG) y la base de datos como un archivo de extensión CVS, el cual se puede trabajar en el *software Excel*. Los datos del gráfico corresponden a los días en que pasa el satélite por el punto requerido.

Se sometieron a este proceso, los *shapes* de cada comuna componente del área de estudio, los valores obtenidos representan la combinación de los flujos de energía emitidos por los distintos tipos de coberturas del paisaje, estos flujos ocurren a escala de dosel urbano, que es la capa de aire más cercana que cubre la ciudad. También se procesó la respuesta térmica de los sitios eriazos y la respuesta de los espacios verdes más representativos, con especial énfasis en los parques, a los cuales se les asignó una posible área de influencia, como reguladores del microclima urbano, de 100m y 200m; se define esta distancia considerando el trabajo de Almendros (1990), el cual mide el efecto enfriador de parques en Madrid a través de transectos móviles para las distancias ya señaladas.

Figura 16: Producto resultante de Google Earth Engine



Fuente: Elaboración propia en base a GEE

3.4 Fase metodológica III: Modelación del efecto enfriador

Los modelos atmosféricos a microescala (de resolución espacial entre 1 y 4 metros) se utilizan de manera frecuente para proyectar los beneficios térmicos que pueden generar las estrategias de mitigación del calor urbano. Actualmente, existe una variedad de modelos de simulación, los cuales difieren en el enfoque utilizado para representar las distintas ecuaciones rectoras ya sea de flujos o del balance de energía de la superficie urbana (Crank et al, 2018). A pesar de las diferencias que puedan presentar los modelos, estos se estructuran en base a descripciones lógicas que tienen por objetivo imitar, de la forma más fiel posible, el comportamiento de un determinado sistema, por medio de las interacciones entre sus componentes. El uso de modelos de simulación está ampliamente difundido pues permite a los usuarios y a los tomadores de decisiones probar alternativas de desarrollo sin incurrir en los costos que implica utilizar el sistema real, constituyéndose en una valiosa herramienta dentro de la planificación urbana. (González, 2011).

Para evaluar el impacto térmico que puede generar la conversión de sitios eriazos en espacios verdes en el área de estudio, se utilizó el programa *ENVI-met*, el cual corresponde a un *software* de origen alemán, elaborado por el grupo de trabajo *Environmental Modelling Group* del Dr. Michael Bruse del Instituto de Geografía de la Universidad de Mainz. En este trabajo, se utilizó una versión de prueba gratuita, correspondiente a la versión 4.4, pudiendo esta descargarse directamente desde la página del programa.⁷

ENVI-met es un modelo microclimático (tridimensional) de dinámicas de fluidos computacional, en sus siglas en inglés CFD (*Computational Fluid Dynamics*). La física del modelo se basa en las ecuaciones de RANS, y a partir de ellas se simulan las interacciones

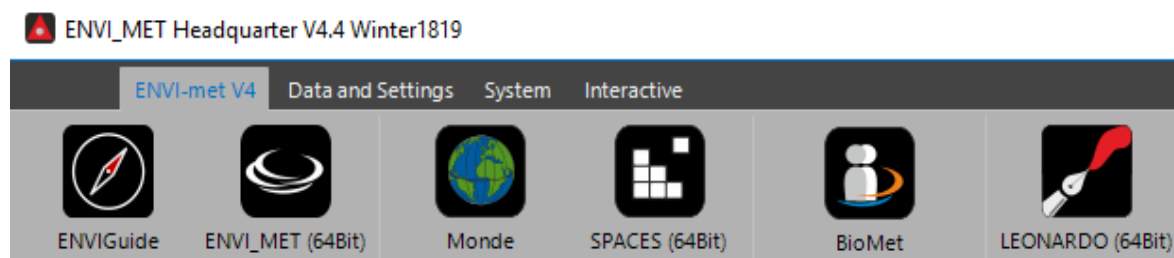
⁷ <https://www.envi-met.com/trial/>

entre el aire y las superficies del entorno urbano. ENVI-met se encuentra diseñado para simular variables climáticas, de confort térmico y también la dispersión de contaminantes; su funcionamiento considera datos meteorológicos como datos de entrada y de salida. Existe una preferencia por utilizar *ENVI-met* en investigaciones sobre el clima urbano, debido a que presenta una interfaz simple, de fácil acceso e intuitiva (figura 17) que permite a cualquier usuario poder realizar simulaciones con el *software*. Es comúnmente utilizado por investigadores enfocados en distintas disciplinas como la planificación urbana, climatología urbana, arquitectura del paisaje y la ingeniería civil (González, 2011; Alchapar & Correa, 2016; Crank et al., 2018).

El programa usa las leyes fundamentales de la dinámica de fluidos y la termodinámica, esto se materializa en la simulación de: flujos alrededor y entre edificios, procesos de intercambio de calor y vapor de las superficies de suelo y paredes, turbulencias, diferentes parámetros de la vegetación, bioclimatología y dispersión de contaminantes (Bruse, 2006 citado en Alchapar & Correa, 2016). También considera todos los tipos de radiación solar (directa, reflejada y difusa), así como la radiación infrarroja de los edificios. El efecto de la vegetación en el entorno considera el efecto producido por la sombra, la absorción y re-irradiación de energía. En términos de resolución, el programa cuenta con una resolución horizontal de 0.5m a 10 m entre cada punto de la malla o grilla; el marco de tiempo máximo permitido para modelar son 48 horas, con intervalos de 10 segundos como mínimo para generar resultados (González, 2011; Alchapar & Correa, 2016).

Además de los parámetros meteorológicos, *ENVI-met* trabaja con otros valores de entrada relacionados a los atributos del paisaje a modelar, a saber: altura y ubicación de edificios, y desde la versión 4 ofrece una mayor personalización de los entornos de trabajo pues se pueden editar múltiples perfiles de suelo, materiales de superficie, características de paredes y techo. La capacidad de crear materiales definidos por el usuario es otra opción que se proporciona dentro de la versión 4. El modelo genera resultados en forma de vectores bidimensionales y tridimensionales. Producto del gran número de efectos en la interacción entre atmosfera, superficie y vegetación, *ENVI-met* exige una alta inversión en el tiempo y en los esfuerzos computacionales (González, 2011; Crank et al., 2018).

Figura 17: Interfaz de *ENVI-met*



Fuente: Elaboración propia

ENVI-met se basa principalmente en cuatro aplicaciones que configuran distintos aspectos de la simulación (González, 2011):

- *SPACES*: en esta aplicación se diseñan los elementos del área que se está simulando (edificios, vegetación, suelos, etc.). También se introducen datos como la latitud, longitud, la zona horaria, etc. del lugar a simular. Adicionalmente se configura la resolución de la malla o grilla.
- *ENVIGuide*: en esta ventana se ingresan los datos generales para la simulación, a saber: fecha, hora de comienzo y total de horas de la simulación. Se ingresan también los datos meteorológicos, los datos mínimos que se introducen son: velocidad del viento (m/s), dirección del viento (en grados), rugosidad, temperatura atmosférica (°C), humedad relativa (%) y específica (gr/Kg).
- *ENVI_MET*: esta aplicación permite examinar y correr el modelo creado.
- *LEONARDO*: es el entorno visual que permite graficar los resultados procesados por las aplicaciones anteriores.

En este trabajo, se realizó una comparación entre el modelado actual del paisaje y un paisaje hipotético donde los sitios eriazos son convertidos en espacios verdes, particularmente en un parque. Para realizar la simulación, se utilizó como referencia la estación meteorológica Cerrillos (perteneciente a la red de monitoreo del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire), es importante consignar que la estación Parque O'Higgins se encuentra más próxima a uno de los espacios a simular, pero esta no presentaba los datos de entrada requeridos para realizar la simulación en el día escogido.

La simulación se realizó para el día de mayor temperatura del aire del verano 2017 (11 de enero) a la hora de mayor intensidad (34,13°C a las 16:00 horas) con el objetivo de establecer el efecto enfriador que pueden tener los espacios verdes sobre el paisaje en condiciones de altas temperatura. Los valores de temperatura atmosférica se muestran en los anexos 1 y 2.

Figura 18: Ubicación estaciones meteorológicas, parques y sitios eriazos contiguos



Fuente: Elaboración propia

El primer paso realizado en *ENVI-met*, fue crear un proyecto en *ENVIGuide*, en esta ventana además de ingresar los datos generales de la simulación, también es la encargada de dar nombre al archivo creado y escoger la carpeta de destino para guardar los resultados. Los datos de entrada se observan en la tabla 8. Adicionalmente en *ENVIGuide* es posible definir preferencias en los resultados que genere la simulación (figura 19), en este caso se optó por enfatizar en el confort térmico que se genera en el área modelada, esto se expresará en distintos valores de temperatura superficial.

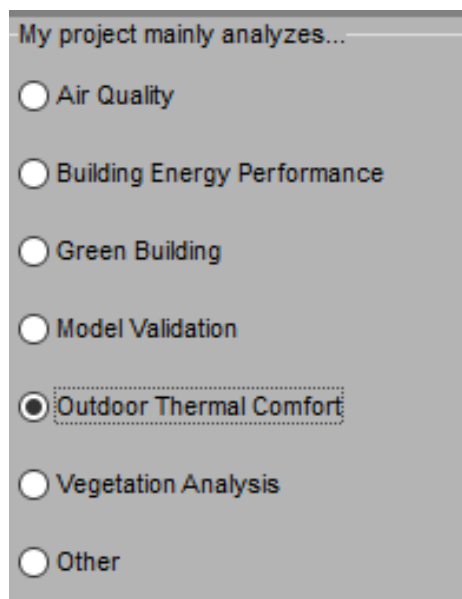
Como se señaló, la modelación de la geometría urbana y la vegetación se realizará en la aplicación *SPACES*, la figura 20 muestra su interfaz y en ella puede apreciarse como está constituida a partir de una grilla donde se situarán los diferentes elementos que componen el paisaje.

Tabla 8: Datos de entrada utilizados en *ENVI-met*

Parámetro	Valor
Velocidad de viento	3,8 m/s
Dirección del viento	232,51°
Longitud de rugosidad ⁸	0,010 m
Temperatura atmosférica	34,13°C
Humedad específica a 2500 m	7 g/kg
Humedad relativa	29,16%

Fuente: Estación meteorológica Cerrillos

Figura 19: Preferencia en los resultados de la simulación



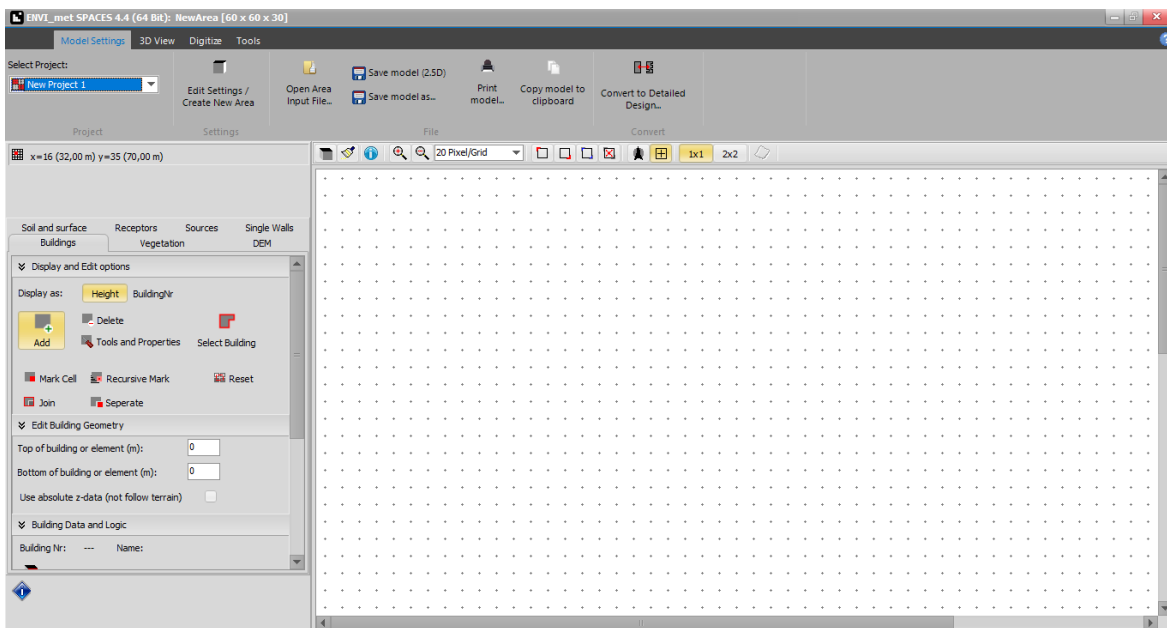
Fuente: Elaboración propia

⁸ Tanto en la rugosidad como la humedad específica se utilizó los valores predeterminados de *ENVI-met*, pues no son datos que se puedan obtener de la estación meteorológica.

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

El primer paso en *SPACES* es editar el área con la cual se va a trabajar, este procedimiento se realiza desde la pestaña *Edit Settings*. Se localiza el área de trabajo (figura 21a), por defecto el programa tiene seleccionada la ciudad de Essen (Alemania), naturalmente se debe localizar la ciudad de Santiago, con esto se referencia la zona horaria a utilizar; es posible cambiar la latitud y longitud entregada por el programa y ajustar las coordenadas al área que se desea modelar. Luego se configura la grilla (compuesta por los ejes X, Y, Z) se editan las dimensiones del modelo, es decir, se define la cantidad de celdas que tendrá la grilla; la versión de prueba utilizada soporta una grilla máxima de 100x100x40. También se puede editar el tamaño de cada celda de la grilla, Clark et al. (2018) señala que existe una tendencia general hacia el uso de resoluciones espaciales de 2 m por celda para adaptarse al tamaño del vecindario, es este trabajo se utilizó una resolución de 5m.

Figura 20: Interfaz de *SPACES*



Fuente: Elaboración propia

Para definir el tamaño del modelo y de las celdas (figura 21b) se utilizó el *software Google Earth Pro*, pues el proceso de creación de la geometría urbana y la vegetación es posible realizarlo mediante la exportación de una imagen (en formato BMP) en la grilla. En *Google Earth Pro* se midió las longitudes de los parques y sitios eriazos, posteriormente en *SPACES* se ajustó la cantidad de celdas y el tamaño de estas en función de las mediciones hechas previamente. Adicionalmente ajustó el norte en *SPACES*, pues la imagen obtenida de *Google Earth Pro* (figura 22a) sufrió una rotación respecto al norte para facilitar la composición de la geometría de los espacios a modelar.

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

Figura 21a: Configuración área modelada

Location on earth

Name of location:

Position on earth:

Latitude (deg. +N, -S):

Longitude (deg. -W, +E):

Reference time zone:

Name:

Reference longitude:

Figura 21b: Configuración de la grilla

Model Geometry **Concept Design**

Model Dimensions:

x-Grids: y-Grids: z-Grids:

Size of grid cell in meter:

dx= dy= dz= (base height)

Method of vertical grid generation:

equidistant (all dz are equal except lowest grid box)

telescoping (dz increases with height)

Telescoping factor (%):

Start telescoping after height (m):

Model rotation out of grid north:

Maximum Model Size is 100x100x40 in ENVI-met BASIC

Fuente: Elaboración propia

Figura 22a: Imagen con norte desviado



Figura 22b: Imagen de acuerdo al norte



Fuente: Elaboración propia

En SPACES se procedió a recrear la geometría urbana, localizando en primer lugar las casas presentes, al ser un área urbana de baja altura, se definió una altura de 2m de altura por casa. La materialidad de las construcciones fue definida en base a las características por defecto entregadas por *ENVI-met*, es decir, paredes que presentan una insolación moderada. Para generar la vegetación existente, el programa ofrece dos maneras: plantas simples y plantas en 3D; el primer grupo contiene cultivos agrícolas (*agriculture*), plantas utilizadas para adornos de fachada (*facade greening plants*), pasto (*grass*) y setos (*hedges*), mientras que el segundo contiene grupos de coníferas (*conifers*), árboles de hoja caducifolia (*deciduous tree*) y palmeras (*palms*). Se trabajó con árboles de hoja caducifolia pues son

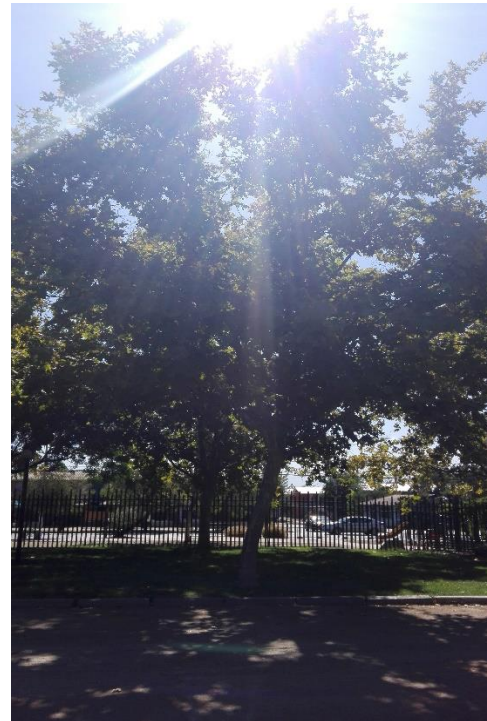
los que más abundan en el área de estudio, este grupo presenta algunas subcategorías, la primera es la diferenciación según su follaje, existiendo árboles de follaje pobre o denso; la segunda distinción es de acuerdo a la forma del follaje, pudiendo ser esféricos, cilíndricos o en forma de corazón; por último, se debe seleccionar entre tres tamaños diferentes de árboles, 5m, 15m y 25m, para cada tamaño existen tres tipos de troncos: pequeños, medianos y grandes.

El modelado del paisaje actual en *ENVI-met* contempló el uso de árboles de hoja caducifolias, de follaje denso y en forma de corazón, el tamaño varió entre 5m y 15m, generalmente con troncos pequeños para 5m y troncos medianos para 15m. Las figuras 23a y 23b muestran un ejemplo de las especies de 5m y 15 vistas en terreno, ambas corresponden a un plátano oriental.

Figura 23a: Especie de 5m



Figura 23b: Especie de 15m



Fuente: Fotografía tomada en terreno

Junto con la modelación de la geometría y de la vegetación, también se editaron las superficies de las calles, del parque y del sitio eriazo. La versión 4.4 de *ENVI-met* permite trabajar con un grupo de 5 categorías distintas de superficies, a saber: superficies naturales (*natural surfaces*), caminos y pavimentos (*roads & pavements*), superficies decorativas (*decoratives*), superficies especiales (*special surfaces*) y cuerpos de aguas (*others*).

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

Figura 24a: Ej. a modelar en *ENVI-met*



Figura 24b: Ejemplo modelado en *ENVI-met*

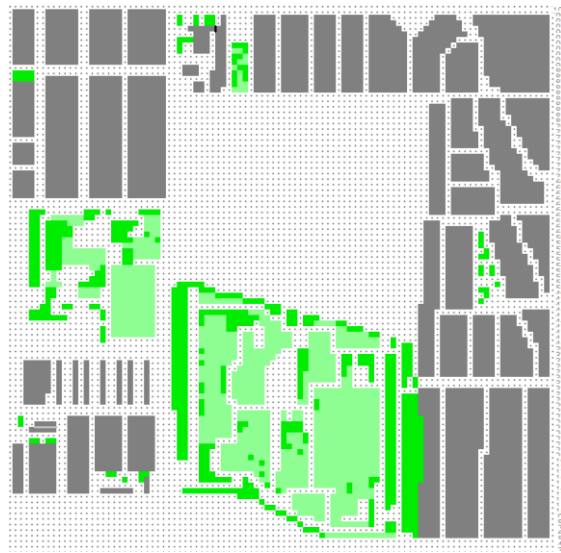
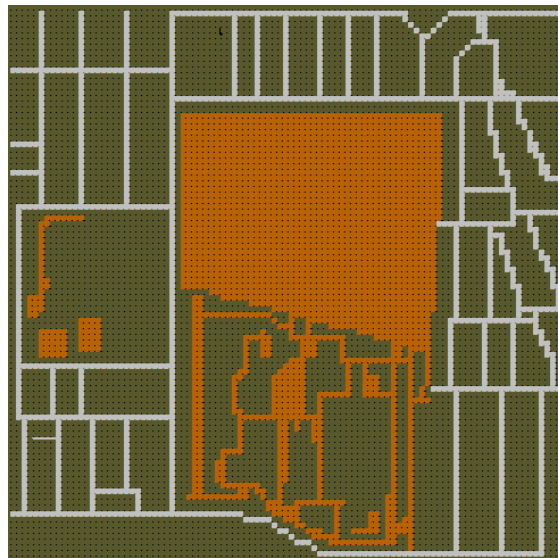


Figura 24c: Ejemplo de suelos modelados en *ENVI-met*



Fuente: Elaboración propia

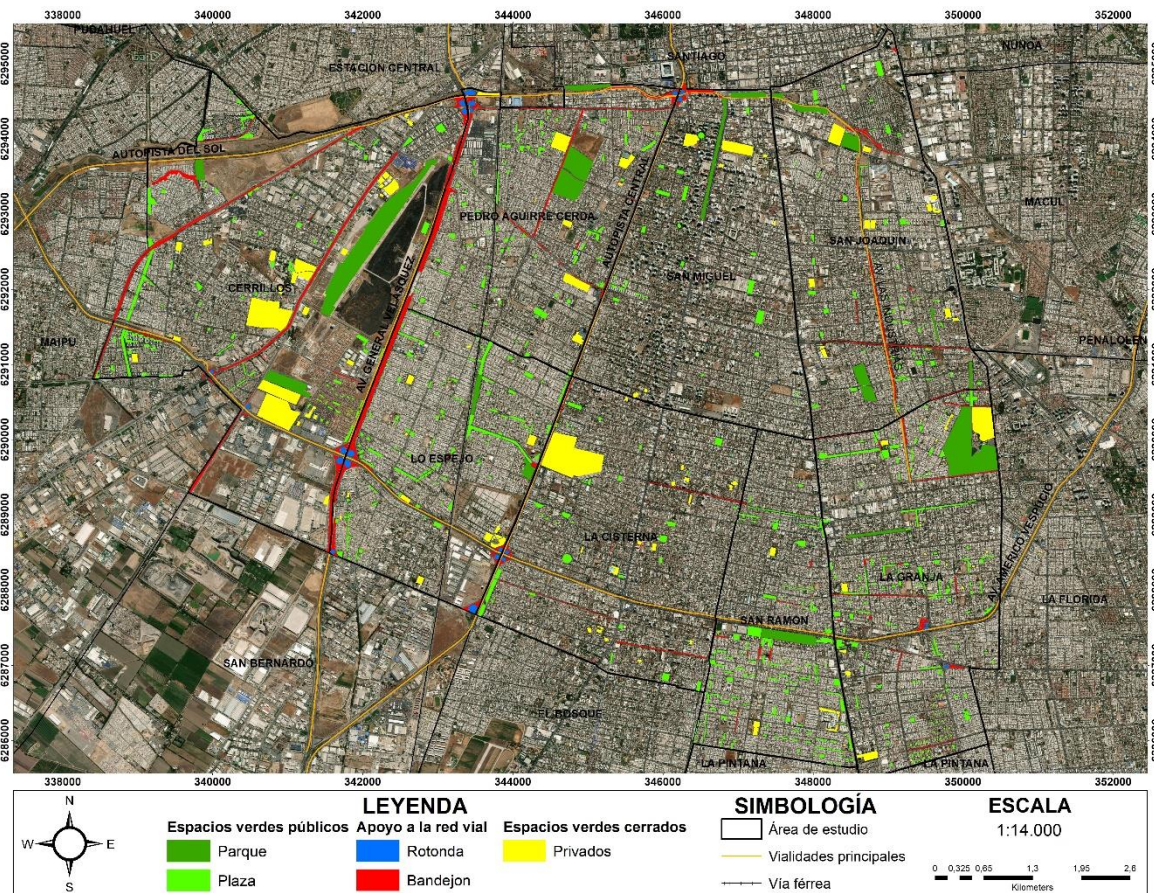
El aporte medular que yace en el uso de *ENVI-met*, es la determinación de diferencias potenciales en la temperatura que podrían existir en un área al sustituir las cubiertas de suelos desnudos por mayor cantidad de vegetación; por lo tanto, al decir de González (2011) el programa se constituye como una herramienta adecuada para evaluar distribuciones (en este caso, temperatura) a nivel espacial y temporales, si así se desea.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1 Identificación y distribución de los espacios verdes

A partir de la fotointerpretación, se reconoció una superficie total de espacios verdes de 5.435.533 m², lo cual constituye el 6,8% de la superficie total del área de estudio (79.641.202 m²); de aquel porcentaje los espacios públicos (plazas y parques) representan el 57%, evidenciando el predominio de esta tipología, le siguen los espacios privados y en menor medida los elementos de apoyo a la red vial con un 27% y un 16% respectivamente.

Figura 25: Espacios verdes en el área de estudio

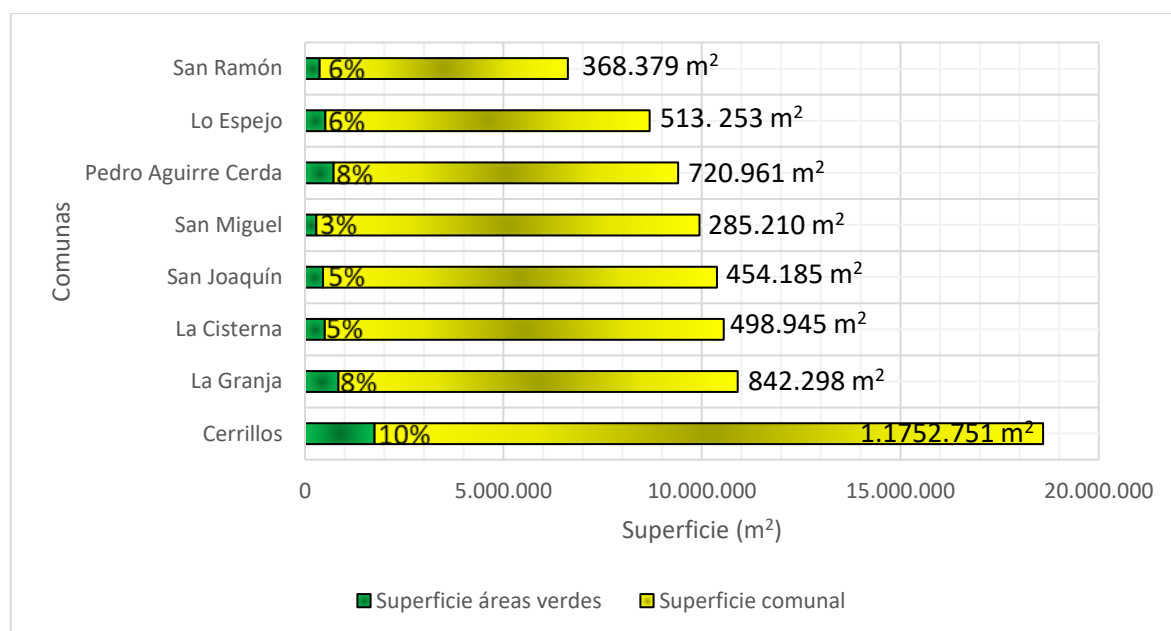


Fuente: Elaboración propia

La figura 26 evidencia la superficie y la representatividad (porcentual) de los espacios verdes en relación a sus respectivas comunas, se aprecia que la mayor superficie de espacios verdes y la mayor representatividad se encuentra en Cerrillos, la comuna de mayor extensión en el área de estudio, pero la relación proporcional en cuanto a tamaño comunal y cantidad de espacios verdes no es una tendencia generalizada pues, en el otro extremo, la comuna con menor cantidad de espacios verdes (San Miguel) no es aquella de menor

extensión superficial, lo es San Ramón, otro ejemplo similar es La Cisterna, que presenta una mayor superficie pero menor extensión de espacios verdes, por lo tanto, otros son los factores para dar cuenta de la dotación de espacios verdes, estos pueden estar vinculados a la historia local, las características particulares que tomó la urbanización en cada comuna, el desarrollo inmobiliario actual, entre otros.

Figura 26: Representación de espacios verdes según superficie comunal

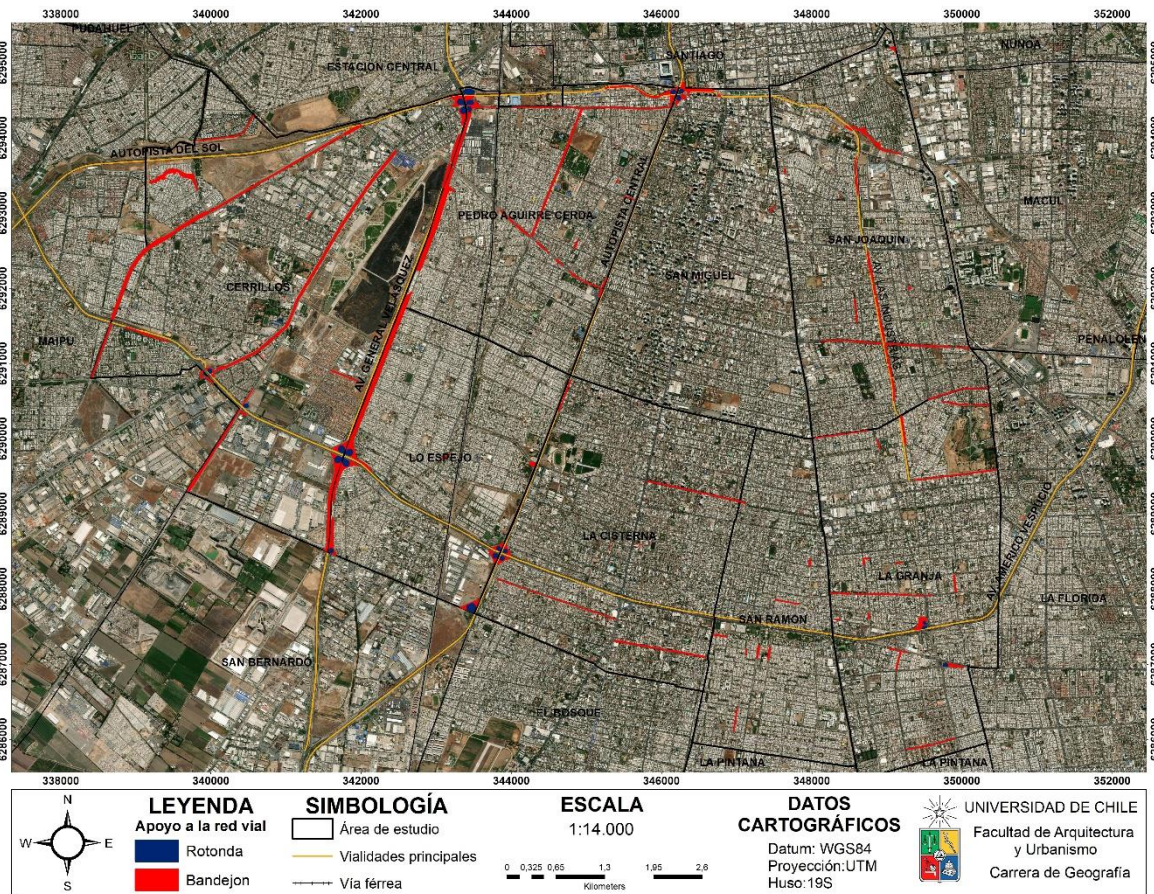


Fuente: Elaboración propia

Para el caso de Cerrillos, la presencia del Parque Bicentenario es gravitante en el catastro de espacios verdes, pues el área de este parque corresponde a 461.086 m², lo que representa una cifra mayor a la totalidad de espacios verdes reconocidos para las comunas de San Miguel (285.210 m²), San Ramón (368.379 m²) y San Joaquín (454.185 m²). Otro factor de importancia en Cerrillos corresponde a la vasta extensión de los espacios verdes complementarios a la vialidad que existen en la comuna (PLADECO Cerrillos, 2011), estos en su conjunto suman 300.856 m². Por el contrario, en San Miguel, la dotación de espacios verdes es escasa; (PLADECO San Miguel, 2015), a pesar de no ser la comuna de menor superficie, sí es la que presenta menor cantidad de espacios verdes, generando zonas a nivel comunal desprovistas de estos.

El desglose de espacios verdes según tipología (anexo 2) indica que, la tipología bandejoneras y rotondas (figura 27) se presentan en menor cantidad y como se señaló, su función primordial es apoyar la red vial, por lo tanto, su ubicación está vinculada a la presencia de las diferentes calles e intersecciones dentro del área de estudio.

Figura 27: Bandejonos y rotondas en el área de estudio



Fuente: Elaboración propia

Las rotondas, se localizan en puntos donde se interceptan dos o más vías y/o se produce congestión vehicular; las rotondas existentes en el área de estudio se presentan en las intersecciones de Av. Américo Vespucio con Av. General Velásquez y con Autopista Central, también en la intersección de Av. General Velásquez con Autopista del Sol. Las rotondas analizadas se configuran a partir de un centro o isla central (no transitable) que se encuentra elevada con respecto a su alrededor, este espacio se compone primordialmente de vegetación herbácea, ya que la vegetación existente tiene por objetivo mejorar la estética, así como también la visibilidad de los conductores, por tanto, no se estila el uso de especies arbóreas (Vera, 2014; Sandoval, 2016).

Es posible que estos espacios cumplan otras funciones más allá de la vialidad, para ello la isla central de la rotonda recibe un tratamiento paisajístico y arquitectónico que apunta a mejorar las condiciones de las zonas circundantes; a saber: se erigen monumentos, se instalan obras de arte, o bien se ubican fuentes ornamentales, esto también como una forma de potenciar el carácter urbano del lugar donde se insertan. En otros casos, en lugares donde existe demanda por espacios públicos y un suelo urbano altamente consolidado, se permite el acceso a la isla central de la rotonda para insertar plazas o parques (figura 28,

plaza Wilson en Toulouse, Francia) que complementen a los tradicionales (Darder, 2005); en el presente trabajo, se identificaron rotondas que cumplen también un rol de plazas, estas se ubican principalmente en vías de bajo flujo vehicular dentro de San Miguel (menor cantidad de espacios verdes) y se clasificaron como plazas.

Figura 28: Plaza al interior de una rotonda



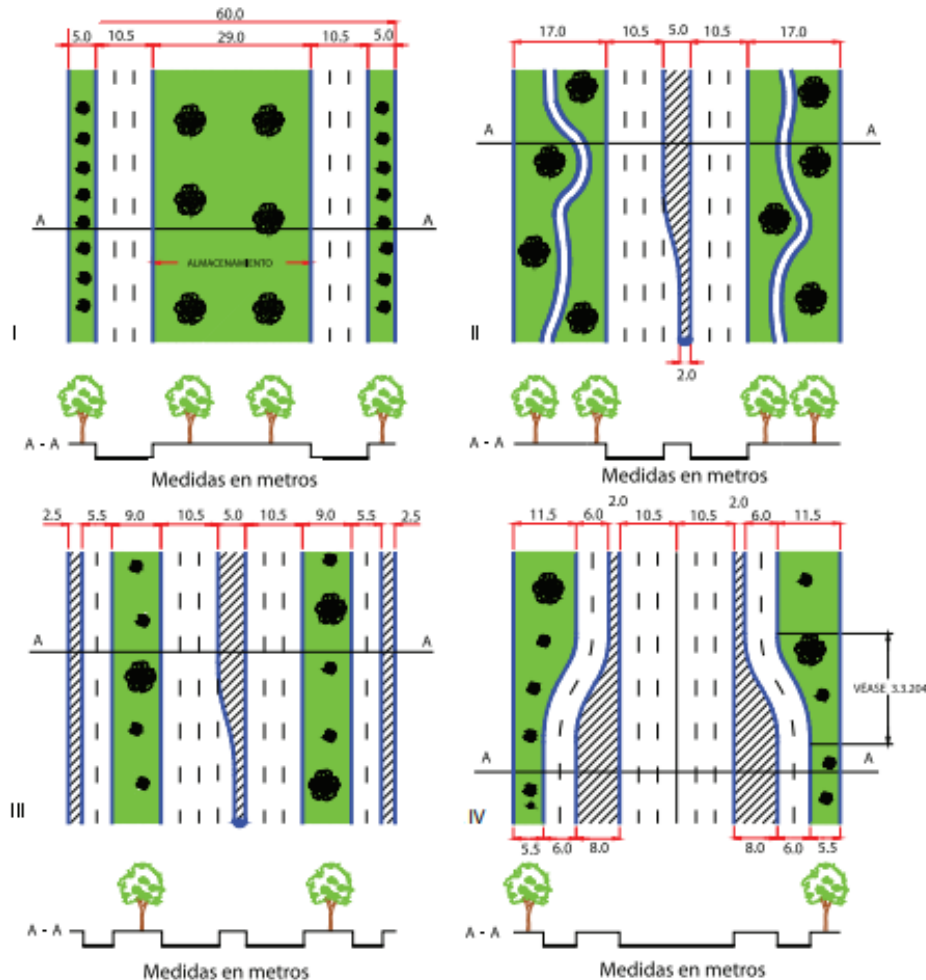
Fuente: Darder, 2005

En relación con los bandejones, estos presentan una composición variada de cobertura vegetal; de acuerdo con la fotointerpretación realizada, los bandejones del área de estudio en su mayoría disponen de baja y/o deficitaria cobertura verde. A pesar de esta situación, se reconoce una excepción, correspondiente al bandejón central ubicado entre la Autopista Central y la Av. General Velásquez, extendiéndose por las comunas de Lo Espejo y Pedro Aguirre Cerda, este espacio presenta un terraplén de mayor anchura, y una cantidad y calidad de vegetación comparativamente superior al resto. Bajo ciertas condiciones, un bandejón puede incentivar a las personas a cruzar la calzada que los separa, generando interés por otras funciones además del desplazamiento peatonal, como lo son el descanso y la recreación, en estos casos los bandejones presentan: mayor anchura que una de las calzadas junto con un arbolado que además del beneficio estético produzca un aislamiento visual y del ruido con respecto a los flujos circundantes (MINVU, 2009).

La figura 29 muestra algunos tipos de bandejones, el ejemplo I se asemeja a lo anteriormente descrito, donde el terraplén central es el doble o triple de ancho que las calzadas adyacentes y presenta mayor vegetación; los ejemplos II y III se asemejan a la mayoría de los bandejones reconocidos en el área de estudio, generalmente estos se encuentran dispuestos en tramos cortos, tienen un ancho considerablemente menor y se tiende a sacrificar una porción de este en beneficio de la prestación de servicios de

estacionamientos (MINVI, 2009), cabe destacar la presencia de vegetación en estos casos es escasa o bien inexistente. El ejemplo IV muestra un espacio de difícil acceso que no tiene la intención de ser transitable.

Figura 29: Tipos de bandejones



Fuente: MINVI (2009)

La evaluación de parques y plazas tiene especial relevancia, esto en consideración de los resultados de la encuesta de comportamiento de la demanda de áreas verdes en Santiago (figura 30), efectuada en el marco de la Política Regional de Áreas Verdes (2014). En ella se expone que plazas y parques concentran el 63% de las preferencias, con 32% y 31% respectivamente. Le sigue en preferencia, con un 14%, los jardines de las viviendas (espacios privados); en menor medida aparecen otros espacios como lugares para recrearse (8%), cerros (7%) y áreas silvestres (6%). Se estructura así una tendencia mayoritaria por preferir los espacios verdes a los que se pueden acceder en desplazamientos que involucren menor cantidad de tiempo, es decir, los que se encuentran a una escala local, siendo la plaza el principal referente dentro de los espacios verdes.

Figura 30: Resultados encuesta preferencia de áreas verdes



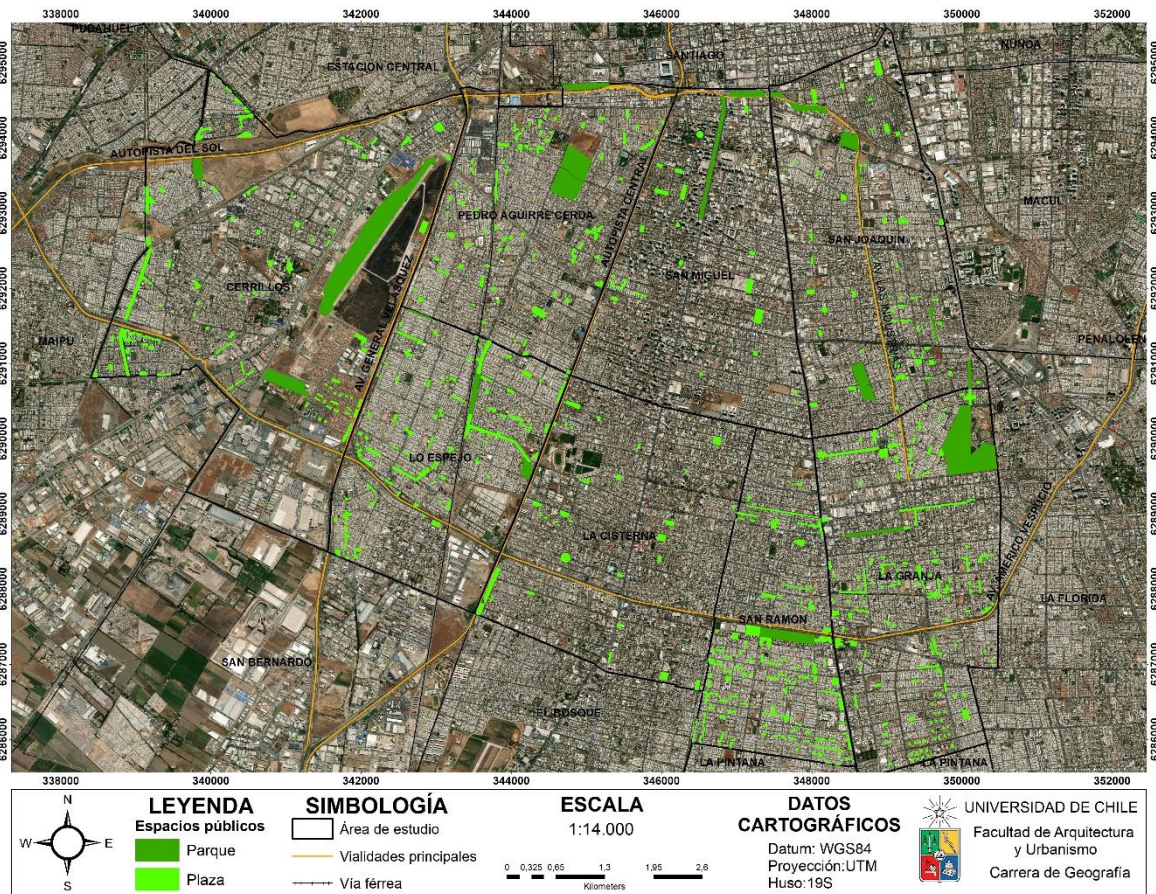
Fuente: Política Regional de Áreas Verdes (2014)

Las plazas son la tipología de espacios verdes preponderante en el área de estudio, en cuanto a número de ellas, mas no en superficie (anexo 2). La basta disposición de plazas se suele traducir también en que sean espacios más cercanos entre sí. La distribución de las plazas indica que se encuentran dispersas en el entramado urbano, sin seguir un patrón claro de localización. La figura 31 muestra la disposición de plazas y parques en el área de estudio.

De acuerdo con la fotointerpretación, la red de plazas detectada fluctúa tanto en tamaño, como también en la cantidad y calidad de la vegetación, pudiendo constatarse plazas con una magra dotación de superficies verdes, mientras que otras destacan por la calidad de la vegetación disponible. Es importante señalar que las diferencias de vegetación en las plazas se pueden entender a partir de la concepción de estas para la legislación, como se señaló, estos espacios no tienen la obligatoriedad de presentar vegetación alguna a diferencia de los parques. Por lo tanto, se deja abierta la posibilidad a encontrar espacios verdes públicos que no aportarán a la regulación de la temperatura local pues no poseen ningún árbol u otro tipo de vegetación, por el contrario, prima el equipamiento urbano que tiende a almacenar y aumentar el calor.

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

Figura 31: Plazas y parques en el área de estudio



Fuente: Elaboración propia


Para el caso de los parques, estos se caracterizan por presentarse en menor número, pero en mayor extensión superficial, de manera que en términos cuantitativos son los que mayormente pueden contribuir a la regulación de la temperatura superficial al interior del área de estudio. Ahora bien, desde una perspectiva cualitativa, también se erigen como el mayor contribuidor a la regulación térmica pues es el único espacio que garantizará la presencia de especies vegetales arbóreas. Dentro del área de estudio, la extensión de los parques es variable según cada comuna, solamente La Cisterna no cuenta con un parque.

La tabla 9 muestra los parques más representativos dentro del área de estudio y la red vial asociada a su ubicación; en ella se puede apreciar como en todos los parques hay por los menos una arteria vial adyacente de importancia (asegurando la presencia de transporte público), además la mayoría de los parques se establecen cerca de estaciones de Metro, a saber: parque Bicentenario, a menos de una cuadra de la estación Cerrillos (L6); parque André Jarlan, a dos cuadras de la estación Presidente Pedro Aguirre Cerda (L6), parque El Llano, a la salida de la estación El Llano (L2); parque La Bandera, a la salida de la estación San Ramón (L4A) y el parque República de Brasil, a tres cuadras de la estación Bellavista



Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

de la Florida (L5) ;esto favorece la accesibilidad hacia estos espacios, importantes tanto para la recreación como para el beneficio térmico.

Tabla 9: Parques más importantes identificados por comuna

Comuna	Parque	Eje vial destacado	Área (m ²)	Foto
Cerrillos	Bicentenario	Av. Pedro Aguirre Cerda -Departamental -Autopista Central	461.085	
Lo Espejo	Violeta Parra	-Autopista Central	25.128	
PAC	André Jarlan	-Clotario Blest -Salvador Allende (ex Salesianos)	106.995	
San Miguel	El Llano	-Gran Avenida José Miguel Carrea -Salesianos -Isabel Riquelme	59.039	
San Ramón	La Bandera	-Av. Américo Vespucio Sur	83.131	

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

La Granja	República de Brasil	-Av. Arenas	Punta	339.770	
San Joaquín	La Castrina	-Varas Mena		69.505	

Fuente: Elaboración propia

De los espacios verdes evaluados, plazas y parques despiertan la mayor valoración entre la población, pues ofrecen una condición muy distinta respecto de lo que hay a su alrededor, donde las superficies grises abundan, especialmente dentro del área de estudio. Estos espacios contribuyen al bienestar de las personas, por ejemplo, las plazas proporcionan un conjunto de servicios ecosistémicos culturales, entre ellos se encuentra: ser un soporte para la recreación y el descanso, permitir el desarrollo de la actividad física, convertirse en un lugar de encuentro, propiciar la cohesión social y el sentido de lugar; todos ellos servicios ampliamente valorados en barrios que presentan carencias de espacios verdes públicos (Reyes, s/f). Además, las plazas presentes en los barrios tienden a encontrarse a una menor distancia que los parques, pudiendo acceder a ellas en un tiempo no superior a 10 o 15 minutos de caminata (Reyes & Figueroa, 2010). Por su parte los parques se encuentran en menor cantidad, de igual forma, son espacios valiosos al ser una plataforma de interacción e integración de los tejidos sociales urbanos, muchas veces actúan como una prolongación de la vivienda que permite el contacto con la naturaleza (Organización Panamericana de la Salud, 2016).

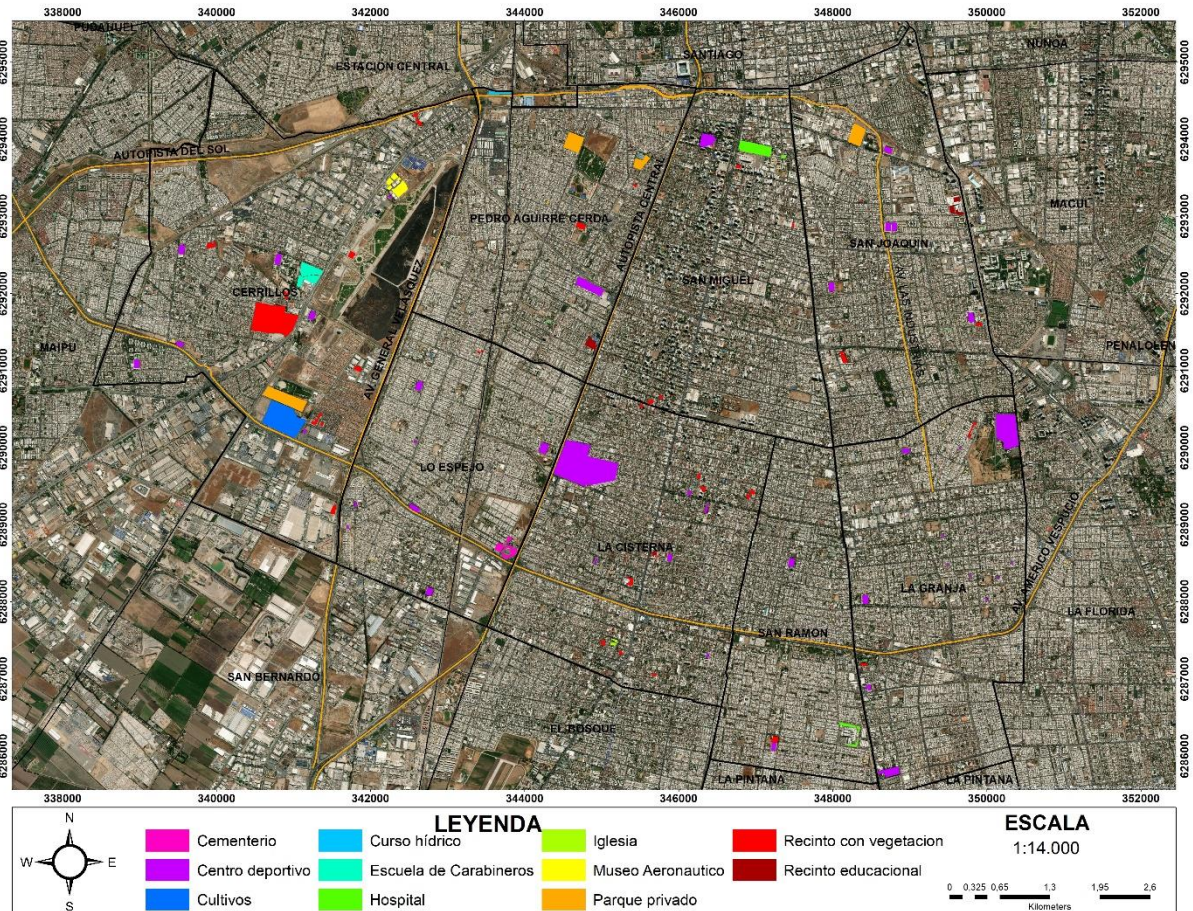
Por su parte, la localización de los espacios verdes privados (figura 32), como es presumible, no responde a alguna tendencia en particular. La importancia de estos espacios dentro de la red de infraestructura verdes varía dependiendo de la comuna, pudiendo existir espacios de alto valor producto de su mayor superficie y calidad de su cobertura vegetal. Algunos casos destacados son los centros de recreación particulares perteneciente a diferentes cajas de compensaciones o instituciones estatales, los cuales se caracterizan por su considerable cantidad de vegetación tanto herbácea como arbórea, estos tienen presencia en Cerrillos y Pedro Aguirre Cerda.

Los centros deportivos también se presentan como superficies importantes, pues tienen presencia en todas las comunas, lo más importantes en este punto son los estadios como aquellos ubicados en La Cisterna, San Miguel y Pedro Aguirre Cerda. Otros espacios privados que pueden alzarse con cierta relevancia son la Escuela de Formación de Carabineros, el Museo Aeronáutico, el Grupo de Scouts Don Orione y la Parroquia del

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

mismo nombre, todos ellos ubicados en Cerrillos. El resto de los espacios reconocidos pueden incluirse dentro de la red de infraestructura verde, aunque su aporte en materia de provisión de servicios ecosistémico será más limitado debido a su extensión y porcentaje de cobertura vegetal.

Figura 32: Espacios privados en el área de estudio



Fuente: Elaboración propia

En casi la totalidad de las comunas los espacios públicos, reflejados en parques y plazas, prevalecen ampliamente sobre los privados, solo en La Cisterna se invierten los papeles. Esta situación se entiende por la ausencia de parques al interior de la comuna y la consiguiente relevancia que adquiere el espacio conformado por los centros deportivos que ahí se localizan, además en dicha comuna, de acuerdo a la fotointerpretación, se localizan mayores edificaciones en altura que cuentan con jardines que presentan un grado importante de vegetación en su composición. La tabla 10 muestra la comparación entre espacios verdes públicos y privados para cada comuna del área de estudio.

Tabla 10: Comparación superficie (m²) entre espacios públicos y privados

Comunas	Públicos	Privados
Cerrillos	848.400	580.237
Lo Espejo	283.978	66.580
Pedro Aguirre Cerda	422.166	120.480
La Cisterna	120.466	341.150
San Ramon	327.486	28.956
San Miguel	173.259	88.792
San Joaquín	294.294	98.937
La Granja	635.331	153.778
Total	3.105.380	1.478.908

Fuente: Elaboración propia

Para contextualizar los resultados obtenidos, se evaluó la disposición de áreas verdes (plazas y parques) en cada comuna, según el estándar internacional propuesto por la Organización Mundial de la Salud; el cual señala que, para crear ciudades saludables, debe existir un mínimo de 9 metros cuadrados de áreas verdes por cada habitante. De acuerdo con este indicador cuantitativo, el Gran Santiago se encuentra por debajo de lo deseable, según la Organización Panamericana de la Salud (2016) en base a Colodro, Salazar y Rehner (2015), en la ciudad existe un total con 2,27m² por habitante, por lo que, para cumplir con esta recomendación se deberían cuadruplicar la cantidad de plazas y parques. Bajo este escenario general, conviven diferentes realidades según las distintas comunas que conforman el Gran Santiago, la tabla 11 muestra la disposición de áreas verdes para las comunas del área de estudio.

Tabla 11: Espacios verdes públicos por comuna según recomendación OMS

Comunas	Habitantes ⁹	Espacios verdes (m ²) ¹⁰	M ² /hab
Cerrillos	80.832	848.400	10
La Granja	116.571	635.331	5
San Ramón	82.900	327.486	4
PAC	101.174	422.166	4
San Joaquín	94.492	294.294	3
Lo Espejo	98.804	283.978	3
San Miguel	107.954	173.259	2
La Cisterna	90.119	120.466	1

Fuente: Elaboración propia

Se demuestra que solo la comuna de Cerrillos posee una superficie verde pública capaz de cumplir con lo recomendado por la OMS. La falta de plazas y parques se evidencia en el resto de las comunas, especialmente en La Cisterna donde la presencia de parques es

⁹ Según resultados CENSO 2017

¹⁰ Según resultados del objetivo 1

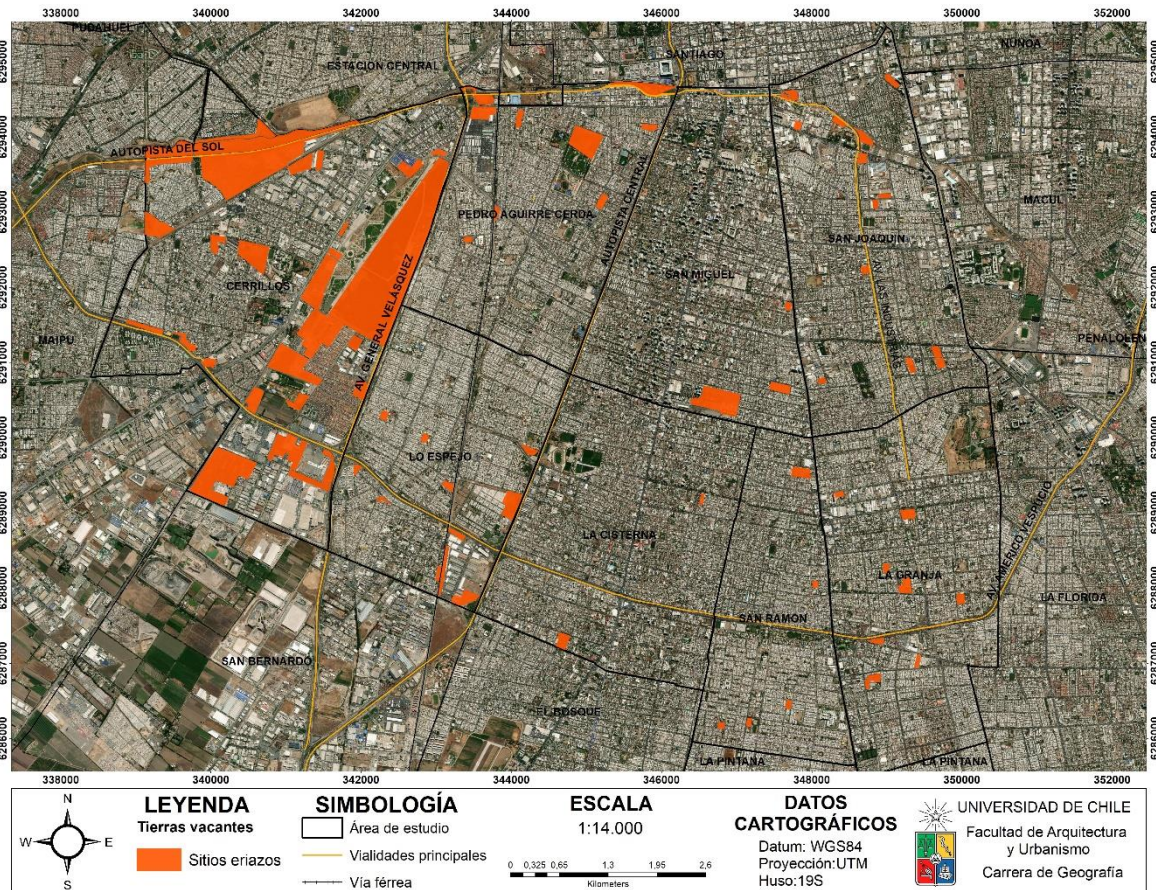
Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

inexistente. Es importante consignar que, si bien este indicador es efectivo para reflejar y denunciar el déficit general plazas y parques; hay que tener presente que no se refiere a algún otro atributo como la accesibilidad, distribución y calidad de estos (De La Barrera, s/f).

4.2 Identificación y distribución de sitios eriazos

Los resultados de la búsqueda de sitios eriazos en el pericentro sur se muestra en la figura 33. En total se identificó una superficie de 4.880.736 m², lo que corresponde al 6,1% del área de estudio; evidenciando una leve diferencia con el 6,8% que representa la totalidad de espacios verdes reconocidos. Del total de sitios eriazos, casi un 80% se concentra en la comuna de Cerrillos, principalmente en el terreno perteneciente al ex aeropuerto. El desglose por comuna se observa en la figura 34.

Figura 33: Sitios eriazos en el área de estudio



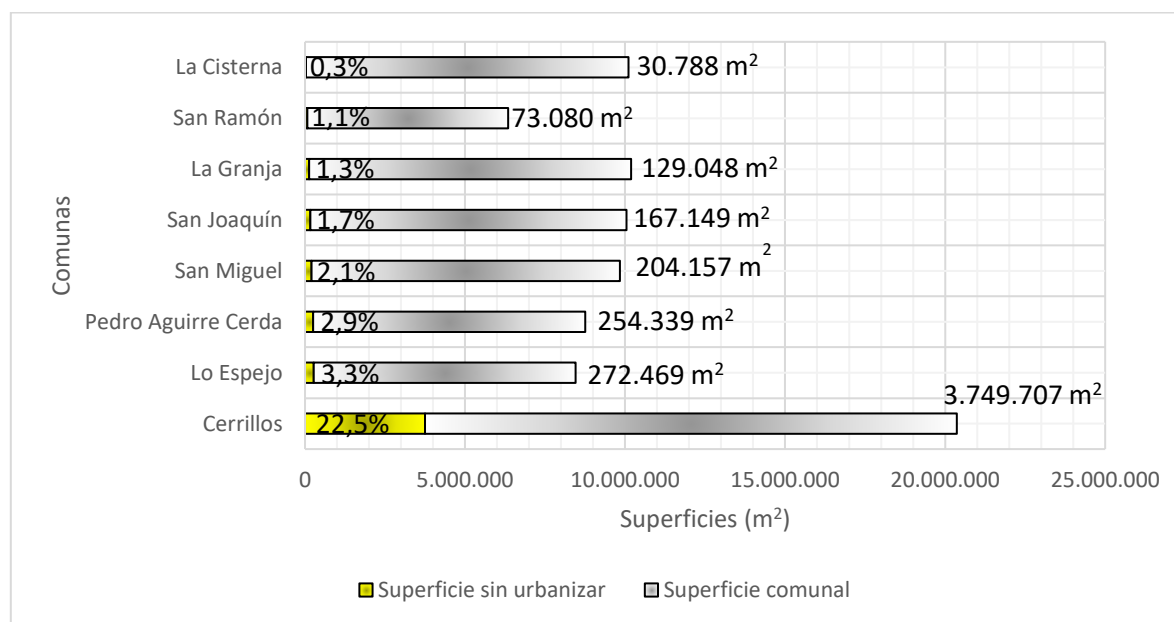
Fuente: Elaboración propia

En la comuna de Cerrillos existen grandes espacios que actualmente se encuentran subutilizados y que podrían aportar enormes beneficios sociales y ambientales tanto para la comuna como para la ciudad en su conjunto. Los espacios que más destacan en este

apartado corresponden al terreno adyacente al zanjón de la aguada (461.085m²) y al terreno del ex aeropuerto de Cerrillos (1.336.095m²), siendo este último casi tres veces más que el tamaño del parque Bicentenario, el de mayor tamaño dentro del área de estudio. Esta área es particularmente importante pues Smith & Romero (2016) señalan que, desde el denominado cono de aproximación del ex aeropuerto de Cerrillos, se genera un efecto enfriador durante el día y además permite el ingreso de masas de aire, las cuales ventilan la ciudad; esto debido al predominio de la dirección suroeste de los vientos.

La posibilidad de aumentar el número de espacios verdes es más compleja en las otras comunas, pues presentan mayores tasas de urbanización por tanto menores tierras vacantes. Las comunas de Pedro Aguirre Cerda y San Miguel muestran mayores oportunidades en este sentido, pues cuentan con espacios no urbanizados de tamaño importante. En Pedro Aguirre Cerda, existe un espacio de 112.542m² que colinda con el parque André Jarlán que a su vez está separado a 20 metros del Parque Pierre Dubois, este sitio eriazo podría aumentar las áreas verdes de la comuna. Potencialmente se podría consolidar un espacio verde de mayor tamaño conformando un eje compuestos por tres parques, que podrían reducir la fragmentación con la que se presentan estos espacios a lo largo del área de estudio. San Miguel, la comuna con menor espacios verdes en el área de estudio, puede aumentar su superficie de espacios verdes si convirtiera el sitio eriazo de 143.012m² ubicados al sur de la comuna en un espacio verde.

Figura 34: Representación de sitios eriazos según superficie comunal



Fuente: Elaboración propia

Los resultados demuestran la existencia de superficies importantes subutilizadas en el pericentro sur de Santiago, que ofrecen un vasto potencial de reconversión. De acuerdo al catastro del SII (2015) mayoritariamente estos espacios corresponden a terrenos de propiedad fiscal, de instituciones de las Fuerzas Armadas y del SERVIU. Así mismo, esta

base catastral identifica en el terreno del ex aeropuerto de Cerrillos el espacio de mayor especulación para sufrir un proceso de renovación urbana, vinculado principalmente a suplir necesidades de viviendas sociales.

4.3 Análisis temperatura superficial

En este apartado se analiza la temperatura superficial de los espacios verdes y los sitios eriazos más representativos del objetivo anterior. Cabe recordar que la temperatura de superficie para cada elemento a analizar, el *Landsat 8* las obtiene durante el día, a las 14:33 horas, por lo que los resultados (promedios, máximas y diferencias entre elementos) toman lugar para este momento particular del día.

La figura 35 muestra los promedios¹¹ de temperatura superficial (durante el verano 2017) según cada macrozona del Gran Santiago, esto con el objetivo de contextualizar los valores obtenidos para el área de estudio. Se aprecia que el mayor valor promedio tiene lugar en el pericentro sur, sin embargo, los resultados son similares entre las regiones pericentrales y el *core* metropolitano, existiendo diferencias de menos de un grado entre cada zona, oscilando estas entre 0,1°C y 0,5°. Las diferencias más notorias en los valores se observan al comparar los resultados del área de estudio con la periferia compacta (existiendo un grado de diferencia) y con el cono oriente, en esta última zona, la diferencia en los valores promedio alcanzan los 1,8°C. Ahora bien, al considerar la máxima registrada para cada macrozona, se acentúan las diferencias anteriormente señaladas; el pericentro sur sigue siendo la región de mayor emisión, pero las diferencias con las otras regiones pericentrales y el *core* aumentan, especialmente con este último, llegando a emitir 1,4°C más. La periferia compacta es la que presenta menor diferencia de temperatura superficial con el área de estudio para cuando se registra la máxima (0,6°C), mientras que el cono oriente mantiene los valores más bajos, siendo estos 3,3°C menos que la máxima registrada en el área de estudio; este último dato puede dar cuenta cómo un paisaje compuesto por mayor cantidad de espacios verdes puede influir en los valores que alcanza la temperatura de la superficie. En este sentido, la diferencia en la temperatura superficial emitida por cada macrozona, puede actuar como un indicador general de las distintas configuraciones del paisaje de cada una de ellas; es importante consignar que la expresión de la ICUs no solo depende de las particularidades del emplazamiento, también se debe considerar las características de su entorno inmediato y las condiciones inherentes a su localización geográfica.

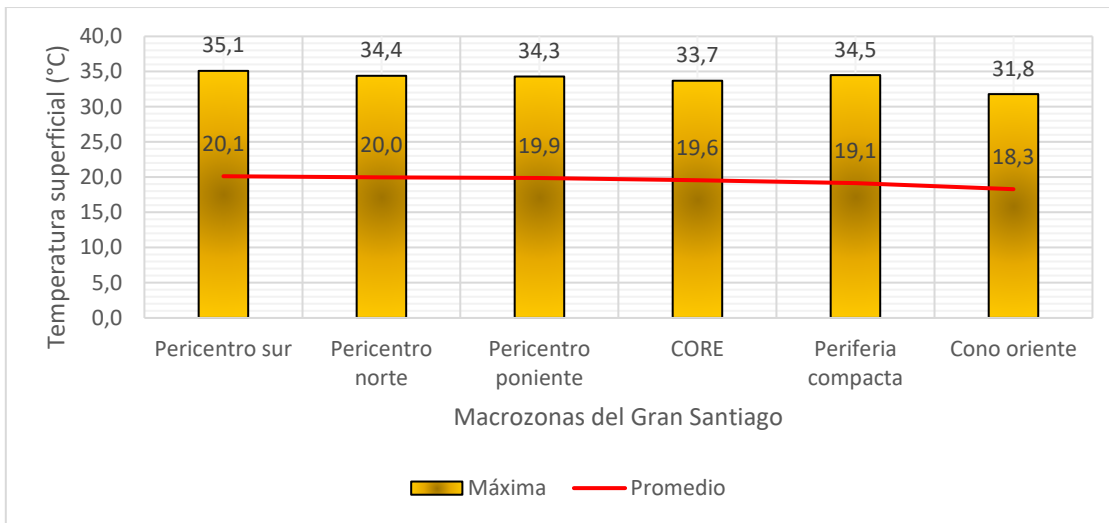
Por su parte, la figura 36 muestra cómo evoluciona los promedios de temperatura superficial en los meses de verano (periodo de mayor intensidad de la ICUs) durante los años 2014 a 2017; no se consideró el año 2013 pues los datos fueron obtenidos desde el satélite *Landsat 8*, cuyo primer registro corresponde al mes de abril de 2013. Se observa un comportamiento similar a los datos expuestos en la figura 35, es decir, mayor similitud de comportamiento entre las regiones pericentrales, donde el pericentro sur se erige con los valores más altos, a su vez, el cono oriente mantiene los valores más bajos a lo largo del tiempo. En cuanto al comportamiento durante el periodo evaluado, se observan dos alzas notorias, una en el año

¹¹ Promedio simple, pudiendo observarse los valores registrados por el *Landsat 8* en el anexo 3

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

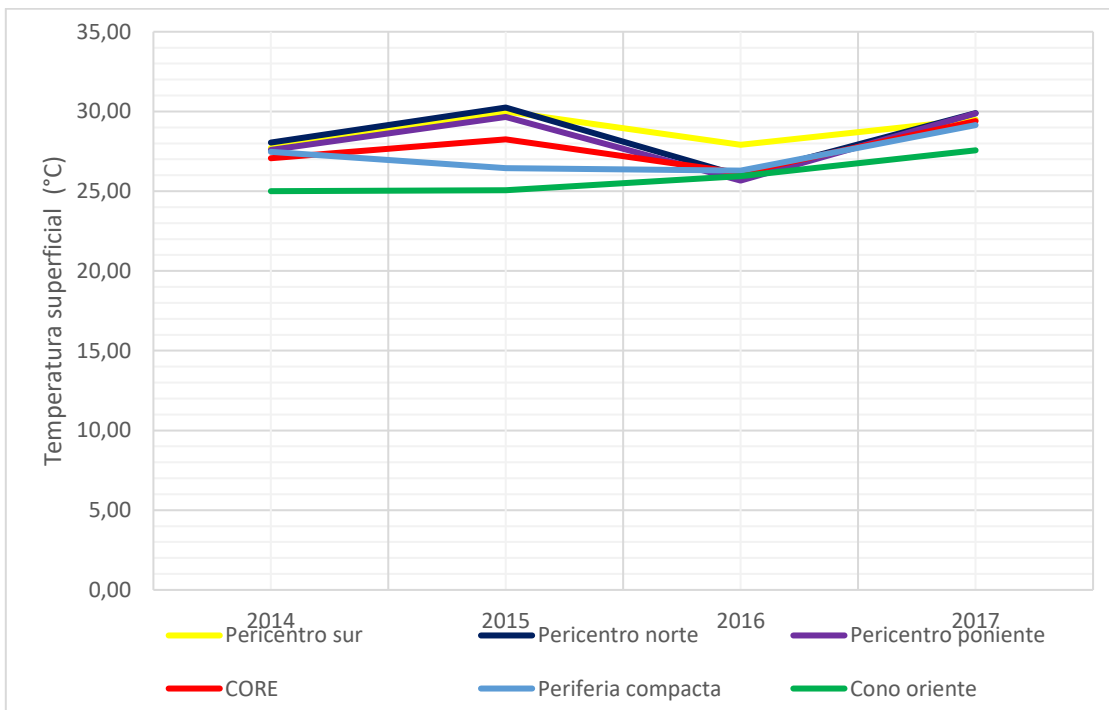
2015 y la otra en 2017; este patrón en la temperatura superficial es similar a lo que ocurre con la temperatura del aire registrada en las estaciones del SINCA para el mismo periodo, el anexo 4 muestra dicho comportamiento para una estación de cada macrozona del Gran Santiago.

Figura 35: Temperatura superficial promedio y máxima según macrozonas para el verano 2017



Fuente: Elaboración propia

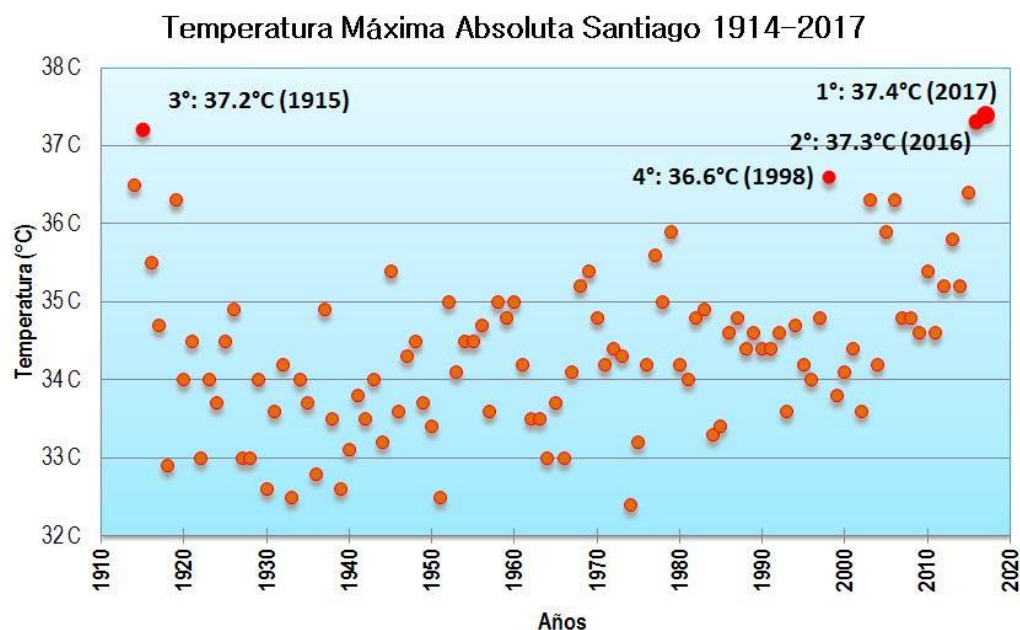
Figura 36: Evolución t° superficial promedio durante el verano según macrozonas



Fuente: Elaboración propia

Las alzas registradas en los veranos del 2015 y 2017 fueron generadas por sendas olas de calor, en el 2015 estas fueron más pronunciadas durante el mes de febrero, registrándose temperaturas atmosféricas de 35,9°C en Santiago, lo cual se constituye como la segunda más alta en el mes de febrero desde 1911. Según la Dirección Meteorológica de Chile esta onda de calor fue provocadas por los vientos cálidos que llegan desde la cordillera hacia los valles (Cooperativa, 2015). En el caso de la ola de calor de 2017, esta tuvo lugar durante el mes de enero, provocando que el verano de aquel año fuera extraordinariamente cálido. En Santiago se registraron temperaturas atmosféricas de 37,4°C, lo cual corresponde al valor más alto registrado en 104 años, previamente (5 días antes del máximo) se registró otra alza histórica de 36,9°C (figura 37). El verano del 2017 se erige como el más cálido desde 1964 (Cooperativa, 2017; La Tercera, 2017).

Figura 37: Temperatura máxima absoluta en Santiago (1914-2017)

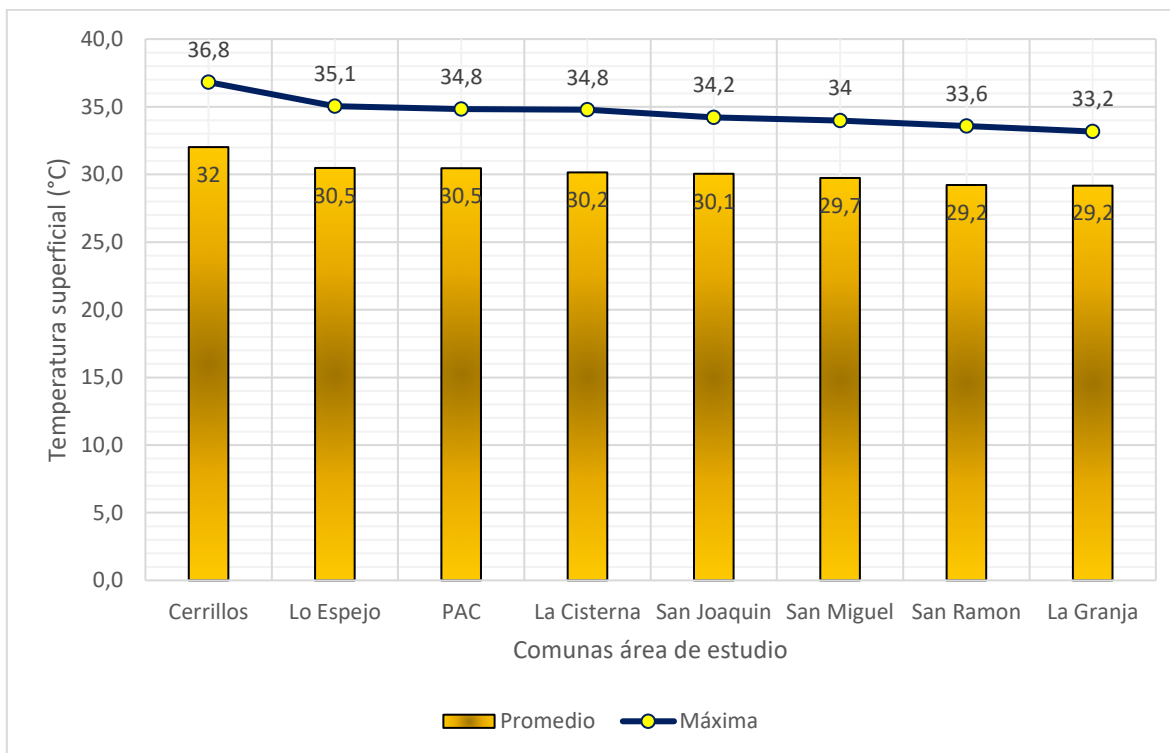


Fuente: Cooperativa (2017) en base a Dirección Meteorológica de Chile

La figura 38 muestra el promedio de temperatura superficial de las comunas componentes del área de estudio para el verano del 2017 (enero a marzo), se observa que Cerrillos alcanza el valor más alto con 32°C, le siguen las comunas vecinas de Lo Espejo y Pedro Aguirre Cerda con 1,5°C menos en su temperatura de emisión; estas comunas pueden generar un eje de mayor temperatura de superficie en el área de estudio al que podría sumarse la comuna de La Cisterna debido a su cercanía. La comuna de San Joaquín también presenta un valor de 30°C. Las comunas de menor valor promedio también se presentan cercanas entre sí, es el caso de San Miguel, San Ramón y La Granja; en el caso de las últimas dos, la temperatura emitida podría encontrarse influenciada por su cercanía a la periferia compacta que como se evidenció presenta valores menores que el pericentro sur. Los valores de las máximas siguen el mismo comportamiento descrito para el promedio.

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

Figura 38: Temperatura superficial promedio y máxima según comunas para el verano 2017



Fuente: Elaboración propia

Para contextualizar los valores obtenidos, la tabla 12 expone la diferencia térmica existente entre las comunas del área de estudio y una comuna de carácter rural, en este caso se seleccionó la comuna de Pirque; esta comuna presenta un promedio para el periodo evaluado de 27,4°C, mismo valor obtenido para la comuna de Las Condes. De acuerdo a lo expuesto la comuna de Cerrillos presenta la mayor ICUs dentro del área de estudio.

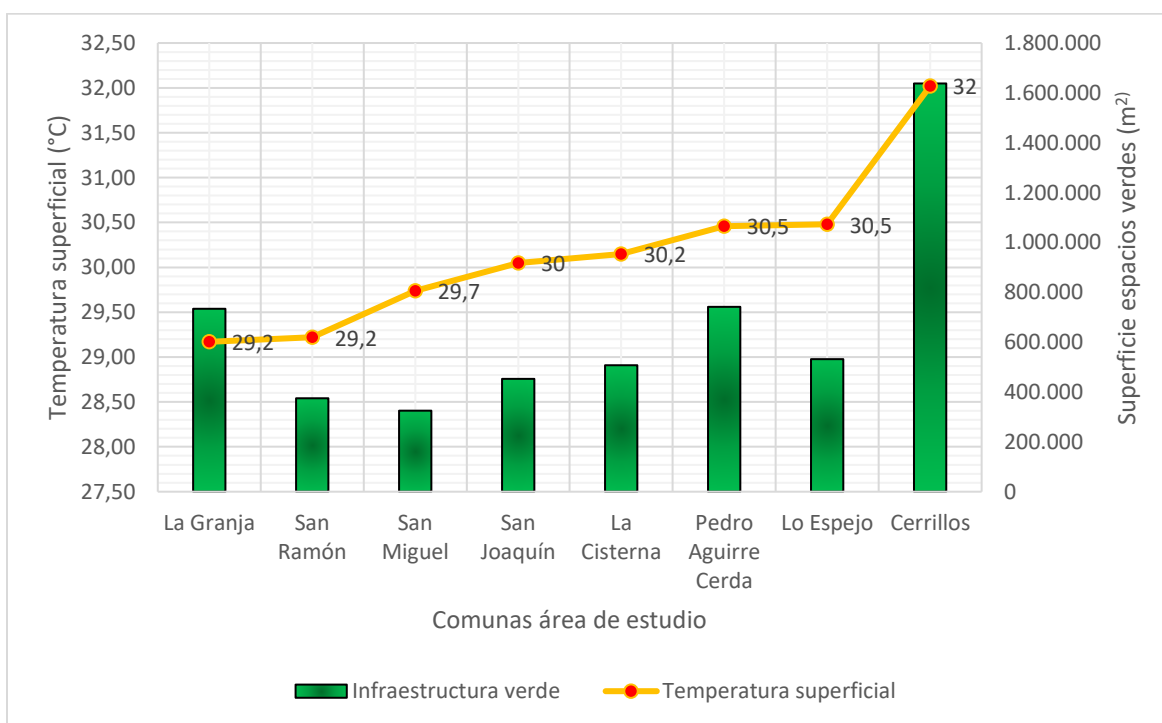
Tabla 12: Diferencias térmicas con comuna rural durante el verano de 2017

Comunas	Temperatura superficial (°C)	Diferencia con Pirque (°C)
Cerrillos	32	4,6
Lo Espejo	30,5	3,1
Pedro Aguirre Cerda	30,5	3,1
La Cisterna	30,2	2,8
San Joaquín	30,1	2,7
San Miguel	29,7	2,4
San Ramón	29,2	1,8
La Granja	29,2	1,8

Fuente: Elaboración propia

Al correlacionar la temperatura de superficie con los espacios verdes disponible por comunas (figura 39), se aprecia que la comuna de Cerrillos cuenta con la mayor cantidad de coberturas verdes y además presenta los valores más altos de temperatura de emisión, mientras que San Miguel que tiene la menor cantidad de espacios verdes, se presenta con una temperatura de superficie dos grados más baja. En relación con los resultados, Sun & Chen (2016) señalan que la reducción de la temperatura no debe evaluarse solo a partir de criterios cuantitativos pues la prestación de servicios ecosistémicos de mitigación térmica no es equivalente entre la pérdida y expansión de los espacios verdes. Por lo tanto, establecer relaciones entre ambas variables a nivel comunal puede representar una visión somera del fenómeno. Tal como señalan Smith & Romero (2016) cada ambiente urbano posee características específicas propias por lo que se debe enfatizar en las particularidades de cada lugar.

Figura 39: Temperatura superficial y disponibilidad de espacios verdes por comuna



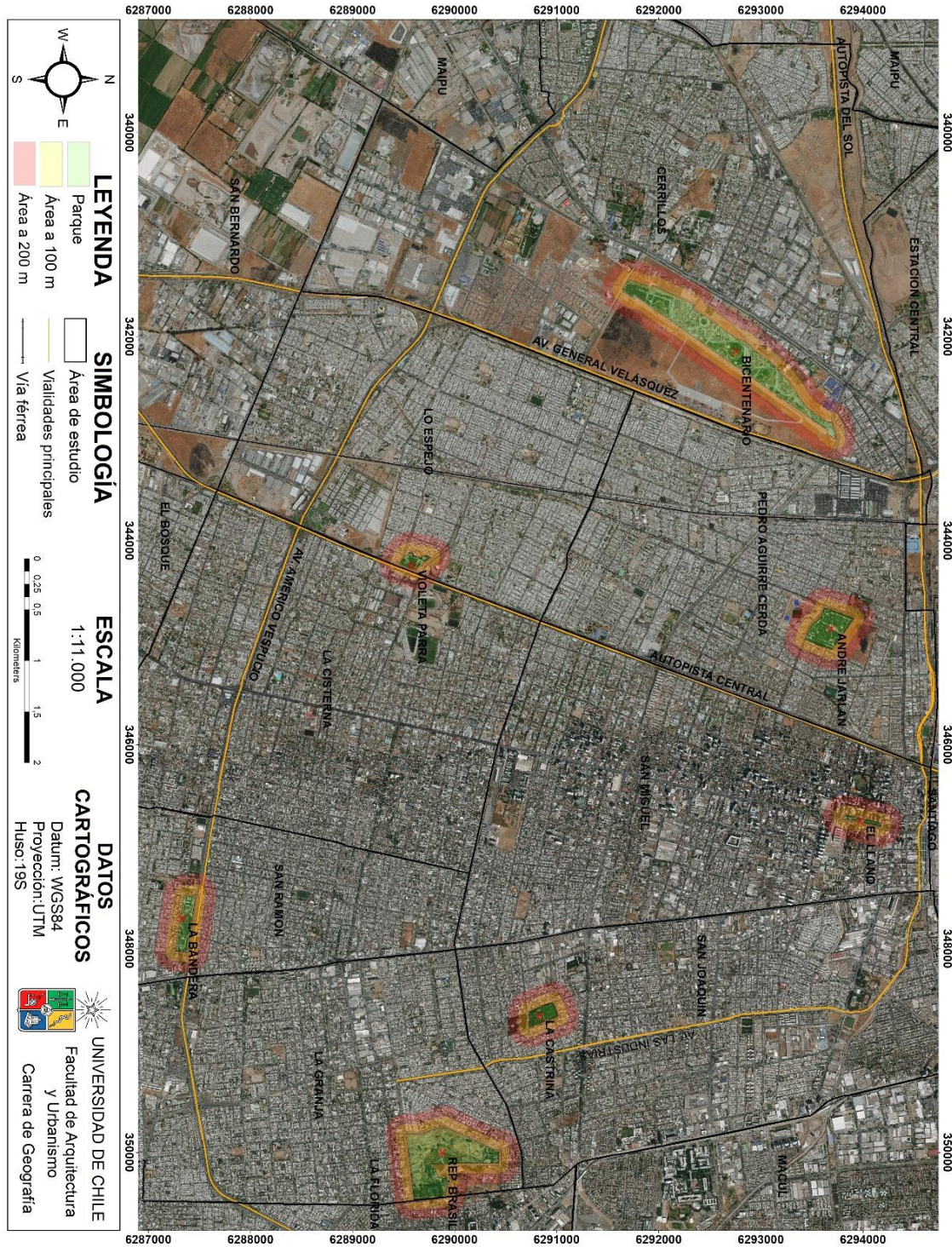
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se evaluó la respuesta térmica de las superficies verdes más representativas disponibles dentro del área de estudio, el objetivo es comprobar si parques y plazas cumplen un rol de isla de frescor. En primer lugar, se evalúan los parques del área de estudio (tabla 9). Los resultados obtenidos demuestran realidades dispares entre los parques evaluados, existiendo parques que se presentan con una temperatura mayor o igual al entorno urbano donde se insertan, y otros que se presentan como una isla fría, que si bien, no es muy intensa, si parece clara. La tabla 13 muestra las diferencias entre la temperatura de los parques en relación con su comuna y con su entorno inmediato a 100

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

metros y 200 metros, la figura 40 muestra la localización de los parques en el área de estudio.

Figura 40: Ubicación parques evaluados y áreas de influencia a 100 y 200 metros



Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Temperatura superficial promedio para parques y su entorno (°C) durante el verano 2017

Comunas	Temperatura comunal	Temperatura parque	Temperatura a 100 M	Temperatura a 200 M
Bicentenario	32	32,3	33,3	33,6
Rep. Brasil	29,2	30,1	29,4	29,3
André Jarlan	30,5	30	31,3	31,3
La Bandera	29,2	29,6	29,3	29,4
El Llano	29,7	29,4	29,2	29,1
Violeta Parra	30,5	29,2	30,1	30,4
La Castrina	30,1	28,2	29	29,2

Fuente: Elaboración propia

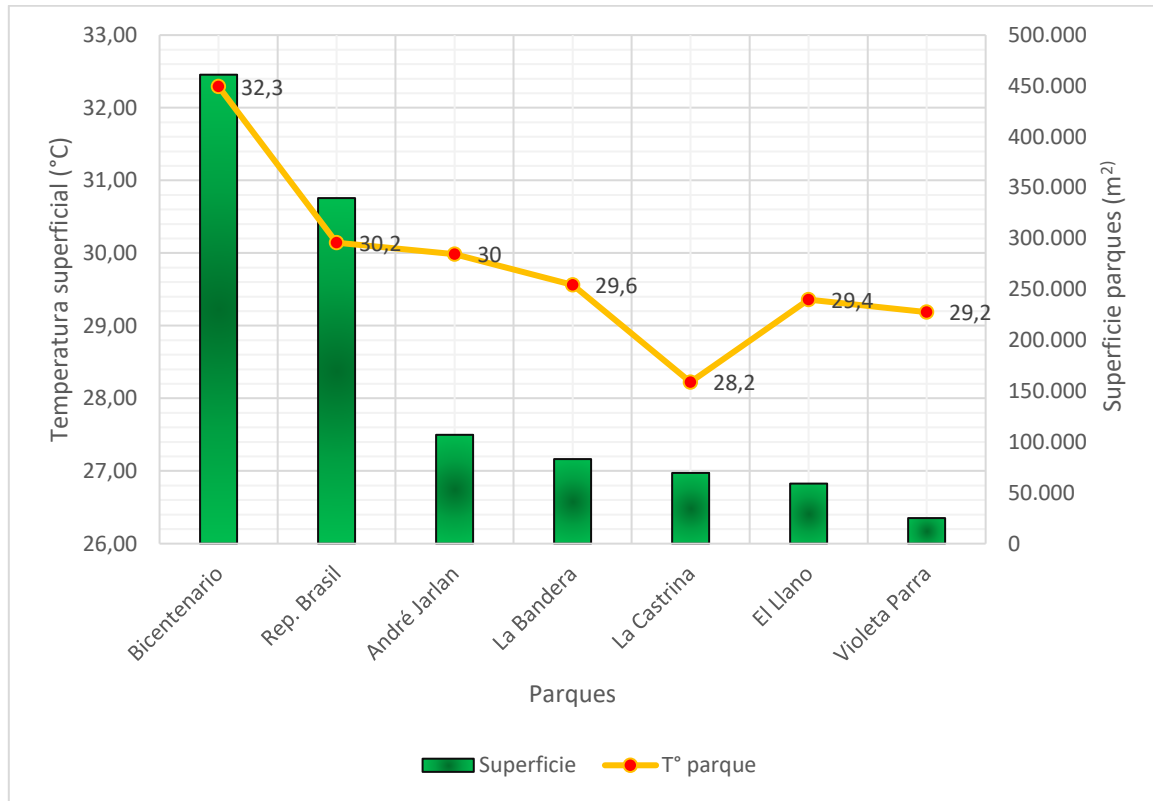
De la tabla 13 se desprende que, en general, a medida que aumenta la distancia en relación con el parque, también aumenta la temperatura emitida por la superficie; ahora bien, el rango de aumento varía de acuerdo con el diseño del parque y de las características del entorno donde se localiza. Las mayores diferencias se detectan entre el parque y su área adyacente a 100 metros, mientras que las áreas definidas a 100 y 200 metros presentan diferencias mínimas entre sí, en el orden de los 0,1°C a 0,3°C.

Los parques Bicentenario (anexo 5) y André Jarlán (anexo 6) son los que mayores diferencias presentan con su entorno, alrededor de 1°C más frío, el área adyacente a estos parques se caracteriza por la influencia térmica ejercida por suelos descubiertos de gran tamaño; si se evalúan los valores de los parques con la realidad a nivel comunal, se observa que estos espacios se presentan con una temperatura prácticamente idéntica. En el caso de los parques El Llano (anexo 7), La Castrina (anexo 8) y Violeta Parra (anexo 9) la influencia térmica en su entorno urbano adyacente es menor a un grado en los primeros 100 metros (0,2°C, 0,8°C y 0,9°C respectivamente); los valores de temperatura emitida alcanzados en estos parques son alrededor de un grado menor que los valores a nivel comunal, a diferencia de los parques anteriores. Finalmente, los parques La Bandera (anexo 10) y República Brasil (anexo 11) al contrario de los otros, se presentan ligeramente más cálidos que su entorno, 0,3°C y 0,7°C respectivamente; también sus valores de emisión son un poco mayores a los de sus respectivas comunas.

A la luz de los resultados, se consigna que no existe necesariamente una correlación entre el tamaño del parque y los valores de temperatura registrados (figura 41), Fan et al. (2015) señala que a partir del patrón espacial que adquiera la vegetación, se generará un mayor o menor efecto sobre la mitigación de la temperatura. Por lo tanto, lo que influenciará en mayor medida los impactos térmicos deseados es el nivel de segmentación con el que se disponen los parches de vegetación, es así como una menor temperatura de superficie se asociará a parches de vegetación más largos, contiguos y compactos. Otras consideraciones de importancia guardan relación con el tipo de vegetación a utilizar, siendo

las especies arbóreas las predilectas, y también, la consideración de la escala espacial dentro de la planificación de los impactos térmicos deseados.

Figura 41: Temperatura superficial promedio y extensión de los parques evaluados











Fuente: Elaboración propia

Se analizó la importancia de las plazas como espacios reguladores de las condiciones térmicas, para ello, se seleccionó la plaza de mayor tamaño en cada comuna del área de estudio, al igual que con los parques, se asignó una posible área de influencia correspondiente a 50 metros; la tabla 14 muestra las plazas analizadas, pudiendo apreciarse su área y el diseño que presentan, mientras que la tabla 15 señala la temperatura de superficie de cada plaza y para su respectiva área adyacente a 50 metros.

De manera general, las plazas se estructuran a partir de un esquema definido por la presencia de tres elementos: árboles, pasto y superficies grises. Los árboles configuran el espacio más importante en materia térmica, siendo su tamaño variable; del solapamiento de sus copas se producen áreas de sombra y huecos en tamaños variables. El pasto genera un área de vegetación herbácea predominante, mientras que las estructuras grises propician lugares de encuentro (Stocco et al., 2013).

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

Tabla 14: Plazas analizadas en el área de estudio

Comuna	Área (m ²)	Foto	Comuna	Área (m ²)	Foto
Cerrillos	9.592		San Miguel	14.754	
Lo Espejo	11.591		San Ramón	20.757	
PAC	7.940		La Granja	8.073	
La Cisterna	14.898		San Joaquín	13.773	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Promedio temperatura superficial (°C) plazas y su entorno durante el verano 2017

Plaza de mayor tamaño	Temperatura comunal	Temperatura plaza	Temperatura a 50 m
Cerrillos	32	30,2	30,3
Lo Espejo	30,5	30,5	30,5
Pedro Aguirre Cerda	30,5	30,5	30,6
La Cisterna	30,2	31,3	31,4
San Joaquín	30,1	30,2	30,2
San Miguel	29,7	30,5	30,5
San Ramón	29,2	28,2	28,7
La Granja	29,2	30	29,9

Fuente: Elaboración propia









El análisis de los valores de la tabla 15 demuestra que, en general, al alejarse de las plazas la temperatura de emisión se mantiene o bien aumenta ligeramente $0,1^{\circ}\text{C}$, esta alza ocurre en Pedro Aguirre Cerda, La Cisterna y La Granja, en Lo Espejo, San Joaquín y San Miguel los valores se mantienen. En los casos donde las plazas se presentan menos cálidas que su entorno, las diferencias son menores a un grado pues en Cerrillos esta es de $0,1^{\circ}\text{C}$ y en San Ramón alcanza el máximo con $0,5^{\circ}\text{C}$. De manera que, en base a la temperatura en superficie de estos espacios, no se reconoce condiciones de frescor que ayuden a la reducción del efecto de la ICUs.

A diferencia de los parques que se presentan con valores más bajos que sus respectivas comunas, las plazas tienden a presentar valores más altos que el contexto comunal, destacando el caso de La Cisterna con $1,1^{\circ}\text{C}$ mayor en su temperatura emitida; por su parte las plazas con valores más bajos a las comunas donde se localizan, corresponden a las ya citadas anteriormente, Cerrillos y San Ramón.

Las mayores temperaturas obtenidas, resultan del efecto combinado de la mayor exposición solar y la materialidad de las superficies. El trabajo de Stocco et al. (2013) profundiza este aspecto para plazas urbana en Mendoza, se señala que, naturalmente, superficies grises generan un área de mayores temperaturas esto pues, tienen la capacidad de almacenar la radiación solar; los parches de vegetación herbácea presentarán, a nivel general, una temperatura más elevada que la vegetación del tipo arbórea; esto se produce debido a una exposición inherentemente más directa a la radiación solar. Por lo tanto, los espacios constituidos por árboles se presentarán con menores temperaturas, como resultado de su condición de sombra. Al observar la tabla 15, se aprecia que las plazas localizadas en Cerrillos y San Ramón poseen un mayor nivel de cobertura vegetal, tanto de pasto como árboles, lo cual puede explicar que los valores obtenidos sean más bajos, por el contrario, las plazas ubicadas en La Cisterna y La Granja presentan una cobertura visiblemente menor de vegetación, primando los espacios impermeabilizados, los cuales absorben directamente la radiación solar al no mediar una sombra en el paso de estas.

Finalmente, se evaluó la temperatura de emisión generada por los sitios eriazos durante el verano 2017, para ello se seleccionó el sitio de mayor tamaño presente en cada comuna del área de estudio (tabla 16). Para este apartado, a diferencia de las evaluaciones anteriores, no se generó un área de influencia, sino que se comparó los valores obtenidos de cada sitio eriazo con los valores de los parques anteriormente analizados. De los sitios evaluados, como se expuso previamente, solo aquellos localizados en Cerrillos y Pedro Aguirre, colindan con un parque (Bicentenario y André Jarlan respectivamente), haciendo en estos casos más visibles las diferencias generadas entre espacios con y sin vegetación.

Tabla 16: Sitios eriazos analizados en el área de estudio

Comuna	Área (m2)	Foto	Comuna	Área (m2)	Foto
Cerrillos	1.353.446		San Miguel	143.011	
Lo Espejo	60.188		San Ramón	27.483	
PAC	112.542		La Granja	24.211	
La Cisterna	5.510		San Joaquín	20.835	

Fuente: Elaboración propia

La tabla 17 muestra el promedio de temperatura superficial del verano 2017 para cada sitio eriazo, parque y su respectiva comuna, en el caso de La Cisterna no hay un parque con el cual comparar los valores obtenidos. Se aprecia que los sitios eriazos emiten una mayor temperatura que las comunas donde se localizan (solo en La Cisterna ocurre lo contrario), estos valores oscilan entre 1,4°C a 3,4°C más, siendo en San Joaquín la menor diferencia y la máxima en Cerrillos. El contraste con los parques sigue la tendencia de una máxima diferencia alrededor de los 3°C, la mayor diferencia térmica entre sitio eriazo y parque ocurre en San Miguel con 3,5°C, seguido por Pedro Aguirre Cerda y San Joaquín con 3,3°C junto con Cerrillos con 3,1°C. En Lo Espejo se evidencia una diferencia de 2,8°C, mientras que los valores menos pronunciados ocurren en las comunas de La Granja y San Ramón, donde la diferencias entre espacios analizados asciende a 1,3°C y 1,1°C respectivamente.

La figura 42 muestra que, a modo general, los sitios eriazos de mayor tamaño emiten los mayores valores de temperatura, pero también se consigna que estos sitios se ubican en

las comunas de mayor temperatura superficial, que corresponden al eje compuesto por Cerrillos, Lo Espejo y Pedro Aguirre Cerda, al igual que en casos anteriores en La Grana y San Ramón los valores son menos pronunciados

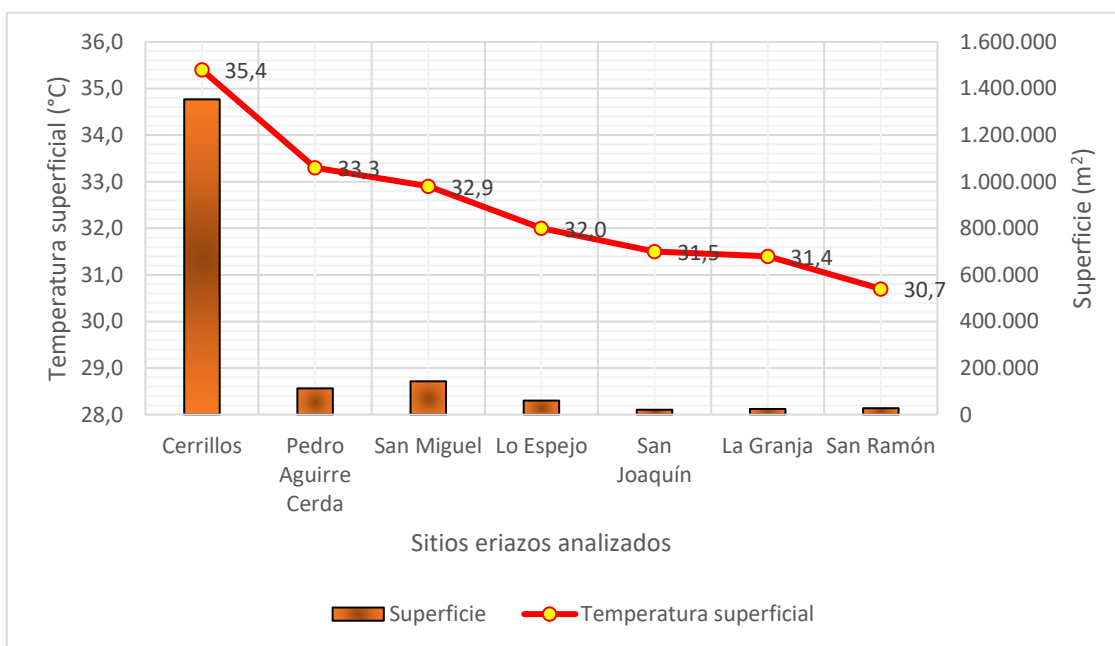
Tabla 17: Temperatura superficial promedio sitios eriazos para el verano 2017

Comuna	Temperatura comunal	Temperatura parque	Temperatura sitio eriazo
Cerrillos	32	32,3	35,4
Pedro Aguirre Cerda	30,5	30	33,3
San Miguel	29,7	29,4	32,9
Lo Espejo	30,5	29,2	32
San Joaquín	30,1	28,2	31,5
La Granja	29,2	30,1	31,4
San Ramón	29,2	29,6	30,7
La Cisterna	30,2		29,3

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados se ratifica que la ausencia de vegetación conduce a un evidente aumento en la temperatura, actuando estos espacios como elementos que disminuyen el confort térmico en las ciudades (además de producir externalidades negativas asociadas al estado actual de abandono), es por esto que en el siguiente apartado se busca a través de *ENVI-met*, modelar el potencial beneficio térmico de convertir sitios eriazos en parques urbanos.

Figura 42: Temperatura superficial promedio y extensión de los sitios eriazos evaluados










Fuente: Elaboración propia

4.4 Modelación del efecto enfriador producido por la creación de nuevos espacios verdes



En este apartado, se modeló la potencial conversión de sitios eriazos en parques, se seleccionó el día de mayor temperatura del aire del verano 2017, al ser este uno de los parámetros de entrada de ENVI-met; junto con eso se busca identificar el efecto enfriador para el momento de mayor temperatura del día, por lo que los resultados generados corresponden al posible escenario a las 16:00 horas.

La tabla 18 muestra las superficies utilizadas para configurar el paisaje actual y el paisaje simulado del sitio eriazo colindante al parque André Jarlan en Pedro Aguirre Cerda. La figura 43a muestra la estructura actual del paisaje, mientras que las figuras 43b y 43c evidencian la forma en que se recreó este paisaje en ENVI-met.

Tabla 18: Parámetros usados en sitio eriazo ubicado en Pedro Aguirre Cerda

Parámetros ENVI-met	Características	Paisaje actual	Paisaje simulado
Suelos naturales (<i>natural surfaces</i>) 	Tipo: sellado (por defecto)	Suelo por defecto	Sin variaciones
Suelos naturales (<i>natural surfaces</i>) 	Tipo: arcilloso	Utilizados para recrear los caminos en el parque	Sin variaciones
Caminos y pavimentos (<i>roads & pavements</i>) 	Tipo: pavimento gris oscuro	Utilizados para recrear las calles	Sin variaciones
Caminos y pavimentos (<i>roads & pavements</i>) 	Tipo: pavimento gris claro	Utilizados para diferenciar las veredas de las calles, así como su respuesta térmica	Utilizados para observar respuesta térmica de este tipo de superficie dentro de un parque
Construcciones 	Altura: 2m Material de las paredes: entregado por defecto Insolación: moderada	Casas de baja altura	Sin variaciones
Vegetación (<i>simple plants</i>) 	Tipo: Pasto	Utilizados en la recreación de la superficie del parque, plaza y espacio privado presente	Sin variaciones
Vegetación (3d <i>plants</i>) 	Altura: 5m Especie: árbol de hoja caducifolia	Utilizados para recrear el arbolado dispuesto en las	Utilizados en los caminos del parque (tronco medio). Se

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

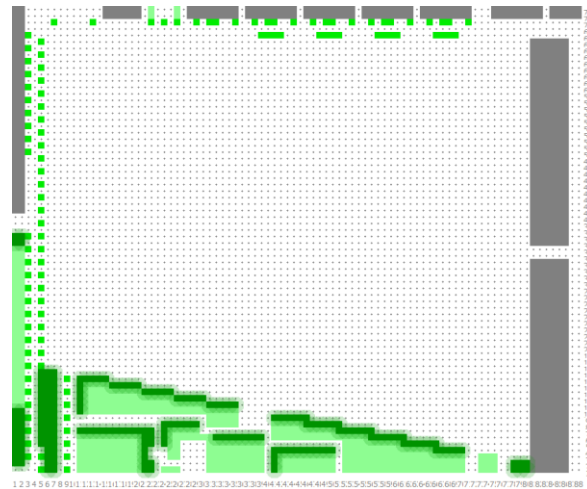
		Follaje: forma de corazón	calles, donde se intercaló especies con follaje denso (tronco medio) y bajo (tronco pequeño). En parques solo se utilizaron follajes densos (tronco medio).	aumentó la regularidad en las veredas al norte del parque del parque simulado
Vegetación (3d plants)		Altura: 15m Especie: árbol de hoja caducifolia Follaje: forma de corazón Tronco: medio	Utilizados para recrear las especies tanto dentro del parque André Jarlan, como en las veredas al poniente de este	Utilizados en reemplazo de las especies de 5m dispuestas en ambas veredas al poniente del parque. Se utilizaron para crear geometrías al interior del parque simulado
Vegetación (3d plants)		Altura: 25m Especie: árbol de hoja caducifolia Follaje: forma de corazón Tronco: medio	No se presentan en la modelación, pero sí hay especies de este tipo en el parque André Jarlan	Se dispusieron en un número reducido, concentrado sobre pasto y en cruces de caminos (diferentes superficies)

Fuente: Elaboración propia

Figura 43a: Área a modelar

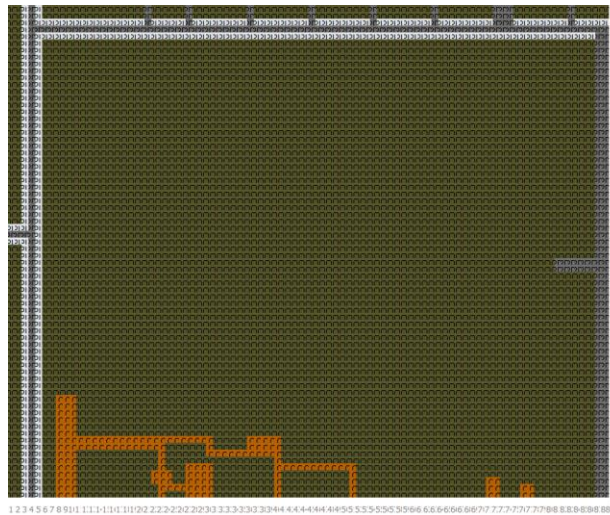


Figura 43b: Área modelada



Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

Figura 43c: Suelos modelados



Fuente: Elaboración propia en base a *Google Earth Pro* y *ENVI-met*

Las figuras 44a y 44b muestran el modelado de la simulación realizada, esta tiene por objetivo aumentar y darle continuidad a la vegetación en el paisaje, considerando los otros parques que se localizan en la cercanía. El diseño del parque simulado busca determinar variaciones en la temperatura de superficie según las interacciones entre la vegetación y las distintas coberturas de suelo, por lo que se incluyeron árboles de 5m, 15m y 25m de altura (reconocibles según el tamaño de la sombra proyectada) que entran en contacto con superficies urbanas y naturales.

Figura 44a: Espacio verde simulado

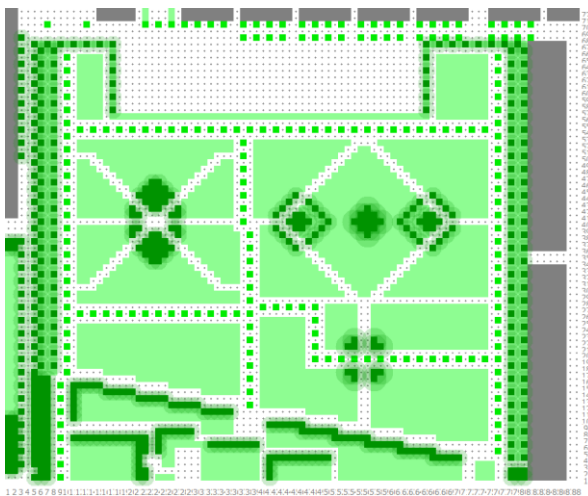
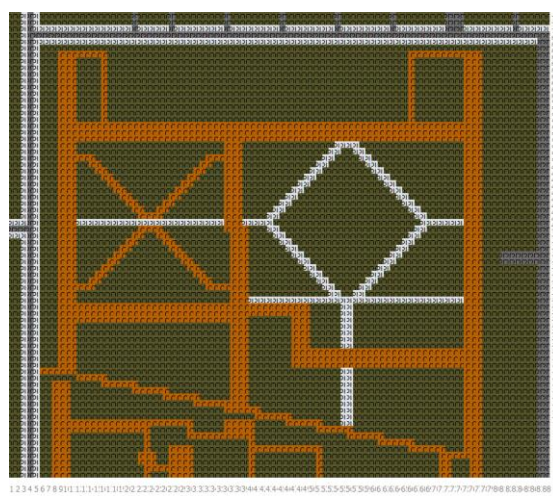


Figura 44b: Suelos espacio verde simulado



Fuente: Elaboración propia en base a *ENVI-met*

La figura 45, muestra la respuesta térmica de ambos paisajes para el día 11 de enero del 2017 a las 16:00 horas, es decir, para el día de mayor temperatura del aire y a la hora de mayor intensidad de esta (34,13°C). En ambos casos, los valores más alto se emiten desde

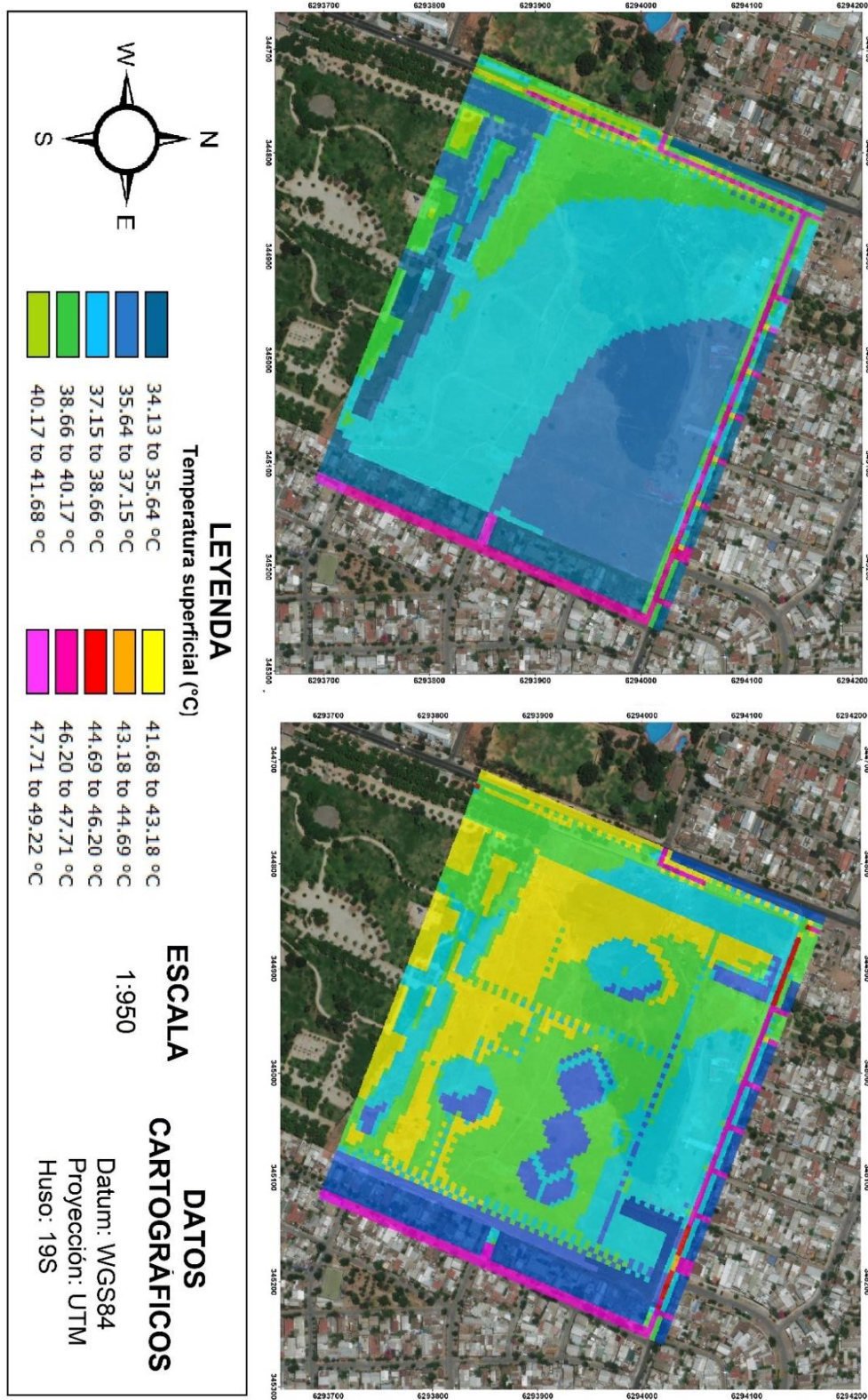
las calles (pavimento gris oscuro) oscilando entre los 46°C a 49°C, para el caso del paisaje actual se aprecia que los árboles de 5 metros dispuestos en las veredas (independiente si el follaje es mayor o menor) tienen un efecto reducido en la mitigación del calor de las calles, en contraste con las especies de 15 metros que pueden extender su sombra hacia el pavimento y reducir la radiación absorbida, esto puede observarse en la vereda poniente al sitio eriazo y del parque André Jarlan; en la simulación se dispuso de especies de 15 metros en dicha vereda, siendo evidente la reducción de la temperatura a lo largo de la calle, emitiendo en este caso entre los 38°C a 41°C. Para el caso de las veredas al norte del sitio eriazo, la mayor regularidad en la disposición de especies de 5 metros no generó un efecto tan pronunciado como el uso de especies que proyecten mayor sombra. De igual forma, no se debe desconocer el efecto de los árboles de menor tamaño en las veredas (pavimento gris claro) pues genera temperaturas superficiales entre 10°C y 6°C menores que la calle adyacente.

Para el paisaje actual, la menor temperatura toma lugar en las concentraciones de árboles de 15 metros en el parque André Jarlan, principalmente aquellas especies que su disposición marcan el límite con la vereda poniente y con el sitio eriazo, estas zonas emiten una temperatura alrededor de los 35°C, es importante consignar que en estos casos los árboles se encuentran sobre superficies de pasto lo cual reduce la radiación absorbida, creando zonas de menor temperatura. Esta tendencia se repite para el caso del paisaje modelado, donde las zonas de frescor quedan contenidas en las cercanías a los árboles de 15 y 25 metros, como se señaló, estas especies interactúan con distintas superficies ya sea pasto, caminos arcillosos y superficies impermeabilizadas (pavimento gris claro), para cada una de ellas es posible evidenciar el efecto térmico que proporciona la sombra; la menor temperatura se sitúa alrededor de los 35°C cuando los árboles se encuentran sobre el pasto pero también ocurre en la superficie impermeabilizada, el efecto de los árboles no es parejo en el parque simulado por efecto de la dirección del viento. Este último punto también marca el comportamiento del pasto (por sí mismo), pues puede variar de emitir 37°C a 38°C (al noreste del parque) a los 41°C a 43°C (al este del parque); lo mismo ocurre para los caminos propuestos, donde el efecto de mitigación de las especies de 5 metros se verá reforzado por la dirección del viento.

A modo general, se establece que a medida que aumenta la cobertura vegetal y la sombra proyectada por estas, disminuye la temperatura emitida desde las diferentes superficies, estableciéndose una relación inversamente proporcional entre ambas variables, que de igual forma, es dependiente del tipo de especie a utilizar. El producto generado en *ENVI-met* en relación al efecto de la vegetación en la mitigación del calor urbano coincide con los antecedentes bibliográficos presentados.

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

Figura 45: Temperatura superficial en el paisaje actual y modelado a las 16:00 horas



Fuente: Elaboración propia

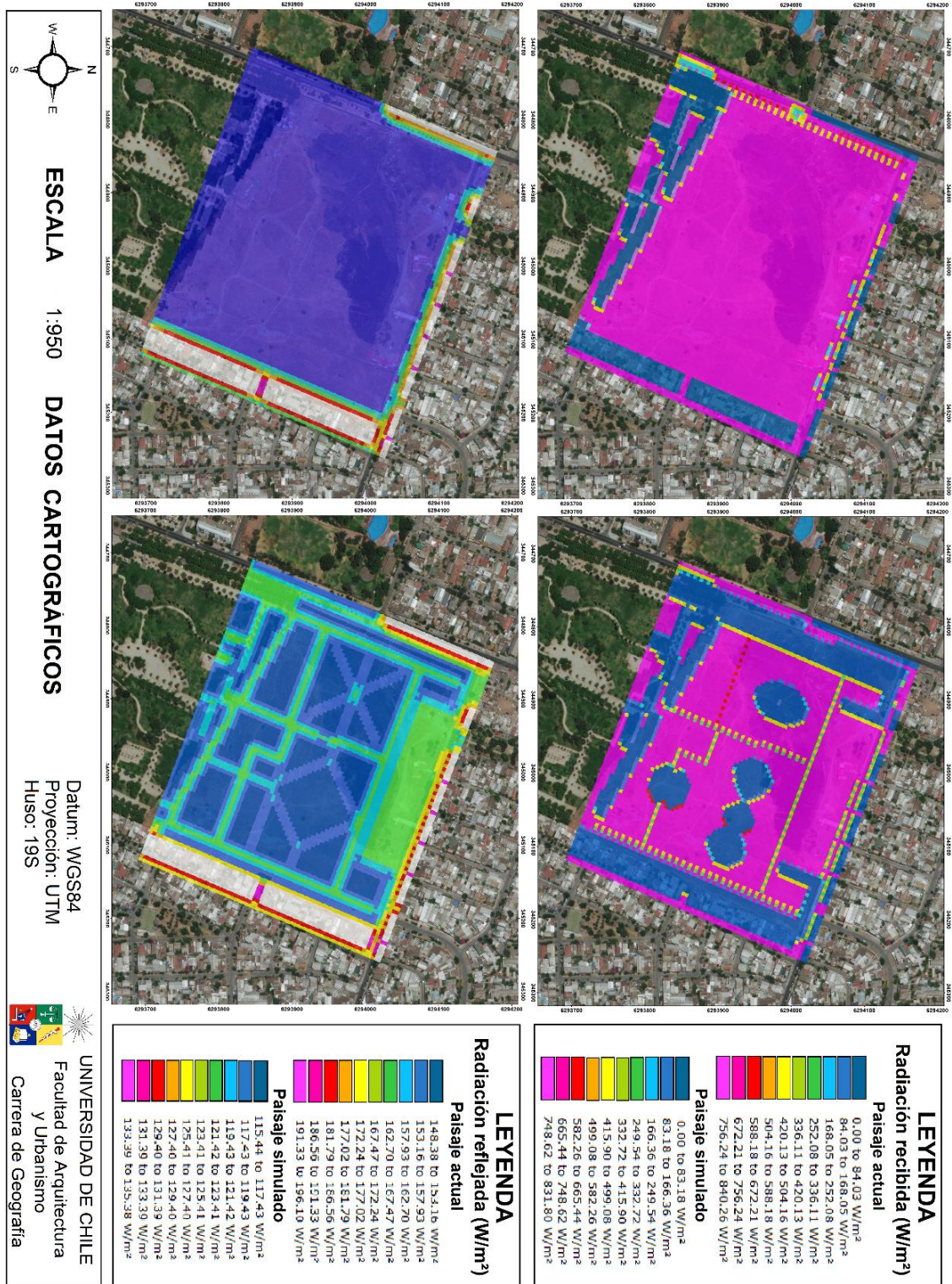
La figura 46 muestra la distribución y la intensidad de la radiación solar directa recibida y la radiación reflejada por las diferentes coberturas del paisaje (medida en watts por metro cuadrado). La radiación recibida corresponde a aquella que llega sin interferencias a la superficie, diferenciándose de la radiación difusa que es la radiación dispersada por la atmosfera, por su parte la radiación reflejada corresponde a aquella que es devuelta a la atmósfera en función de las propiedades físicas del objeto o la superficie que la emite, suele expresarse en términos de coeficiente de albedo (Hernández, 2011).

En el paisaje actual, el sitio eriazo junto con las calles y veredas reciben las mayores cantidades de radiación, pues existen menos elementos (o bien no existen) que obstaculicen el paso de la energía irradiada por el sol, por lo que esta se encuentra entre los 665 a 750 w/m² (la mayor registrada); en materia de radiación reflejada, las calles y veredas reflejan mayor cantidad de radiación a la atmosfera, en un orden de 186 a 191 w/m², es decir, para el caso evaluado, las calles y veredas devuelven el 28% de la radiación recibida; este escenario ejemplifica lo que ocurre con el fenómeno de la isla de calor superficial, donde las estructuras urbanas aumentan la temperatura del entorno. Tanto en el paisaje actual como en el simulado se aprecia que las superficies de pasto reciben la misma cantidad de radiación que el sitio eriazo y las calles, pero la cantidad reflejada es menor, entre 153 a 157 w/m², lo cual se condice con los resultados de temperatura superficial emitida. Para el caso del sitio eriazo, *ENVI-met* señala que un suelo natural presenta un comportamiento similar al de la vegetación, estableciéndose una clara diferencia con los resultados obtenidos en la tabla 16, donde es visible que estas superficies emiten mayores valores de temperatura en superficie; una situación similar ocurre con las viviendas, donde no se aprecia su influencia en el aumento de la temperatura.

En el caso de los árboles, tanto para el paisaje actual como en el modelado, estos influyen la distribución e intensidad con la que la radiación llega al suelo, por tanto, tienen un rol clave en la mitigación de la temperatura emitida por el paisaje, esto como resultado del efecto combinado de la altura de los árboles y la densidad foliar de estos (Huber et al., 1988). Es posible distinguir diferencias en la radiación recibida y reflejada según el tamaño de los árboles, por ejemplo, en el paisaje actual los árboles de 5 metros dispuestos en las veredas al poniente al parque André Jarlan y al sitio eriazo reciben una radiación entre 415 a 665 w/m², las menores se asocian a especies con follaje denso mientras que las de menor follaje reciben mayor radiación lo cual afectará en la temperatura emitida posteriormente; así mismo en el parque simulado se generan diferencias entre el mismo tipo de árboles de 5 metros, presumiblemente por la dirección del viento, estas diferencias quedan representadas en la temperatura emitida vista en la figura 45. En el caso de los árboles de 15 y 25 metros (follaje denso), son los que menores cantidades de radiación reciben y los que menos reflejan, esto pues absorben la mayor cantidad de radiación solar, con motivo de generar fotosíntesis y otros procesos bioquímicos, la radiación que no absorben la reflejan a través de las hojas transformándose en radiación difusa y otra parte llega hasta el suelo mediante los claros que se generen según la forma del follaje (Riffo, 2014); los árboles no solo emiten menor temperatura sino que también ayudan a las otras superficies a disminuir la radiación recibida y por tanto, a mitigar su temperatura superficial.

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

Figura 46: Radiación directa y reflejada en el paisaje actual y simulado a las 16:00 horas









Fuente: Elaboración propia



En el siguiente apartado, se trabajó con parte del sitio eriazo colindante al parque Bicentenario, este corresponde a los terrenos del ex aeropuerto de Cerrillos. Al igual que en la simulación anterior, se trabajó en base al día de mayor temperatura del aire del verano 2017, y al momento (16:00 horas) de mayor intensidad de esta (34,13°).

La tabla 19 muestra las superficies utilizadas para configurar el paisaje actual y el paisaje simulado, por su parte la figura 47a muestra la estructura actual del paisaje, mientras que las figuras 47b y 47c evidencian la forma en que se recreó este paisaje en ENVI-met.

Tabla 19: Parámetros usados en sitio eriazo localizado en Cerrillos

Parámetros ENVI-met	Características	Paisaje actual	Paisaje simulado
Suelos naturales (<i>natural surfaces</i>) 	Tipo: sellado (por defecto)	Suelo por defecto	Sin variaciones
Suelos naturales (<i>natural surfaces</i>) 	Tipo: arcilloso	Utilizados para recrear los caminos en el parque	Sin variaciones
Caminos y pavimentos (<i>roads & pavements</i>) 	Tipo: asfalto	Utilizado para recrear las calles aledañas al parque y al sitio eriazo	Sin variaciones
Caminos y pavimentos (<i>roads & pavements</i>) 	Tipo: pavimento gris oscuro	Utilizados para recrear superficies impermeabilizadas en el parque y diferenciar respuesta térmica según color del material	Sin variaciones
Caminos y pavimentos (<i>roads & pavements</i>) 	Tipo: pavimento gris claro	Utilizados para recrear superficies impermeabilizadas en el parque y en el bandejón cercano, además de diferenciar respuesta térmica según color del material	Utilizados para recrear caminos que entren en contacto con árboles de mayor altura
Vegetación (<i>simple plants</i>) 	Tipo: Pasto	Utilizados en la recreación de la superficie del parque y del bandejón cercano	Sin variaciones

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

Vegetación (3d plants) 	Altura: 5m Especie: árbol de hoja caducifolia Follaje: forma de corazón Tronco: medio	Utilizados para recrear el arbolado del parque, se utilizaron follajes densos	Utilizados en los caminos del parque (. Se aumentó la regularidad en el bandejón cercano al parque
Vegetación (3d plants) 	Altura: 25m Especie: árbol de hoja caducifolia Follaje: forma de corazón	No se presentan en el paisaje recreado	Se dispusieron concentraciones de mayor número y de manera transversal en el parque creado para observar variaciones en su efecto enfriador, en relación al diseño del parque anteriormente simulado

Fuente: Elaboración propia

Figura 47a: Área a modelar

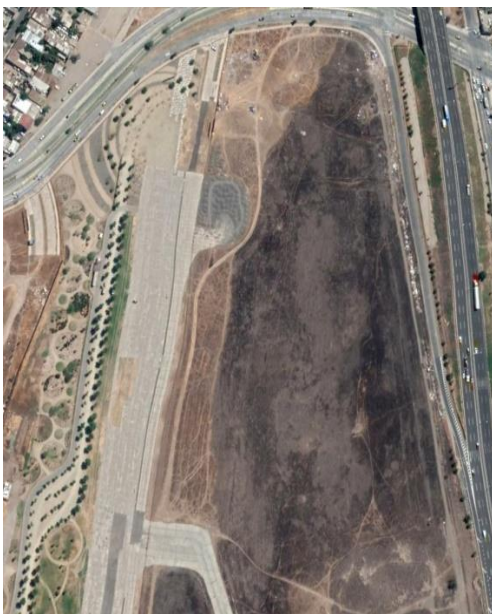


Figura 47b: Área modelada

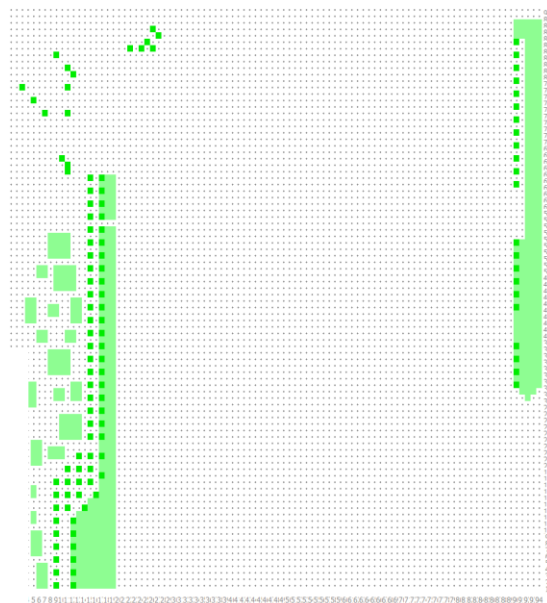
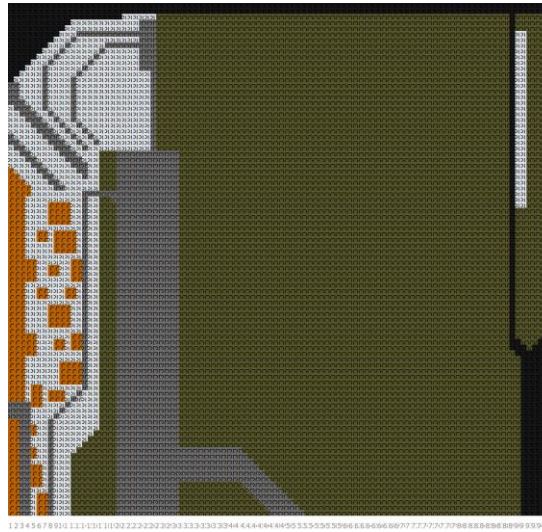


Figura 47c: Suelos modelados



Fuente: Elaboración propia en base a *Google Earth Pro* y *ENVI-met*

Las figuras 48a y 48b muestran el paisaje modelado, en este se dispuso de mayor cantidad de árboles de 5 metros (follaje denso, tronco medio) en el parque Bicentenario, principalmente sobre las superficies urbanas allí presentes. El diseño del parque simulado busca maximizar el beneficio de mitigación de la temperatura superficial, por ello se utilizaron mayor número de especies de 15 metros (follaje denso, tronco medio) a lo largo del parque; especies de 5 metros (follaje denso, tronco medio) se utilizaron para definir los límites del parque y caminos. Para los suelos, se definieron mayores superficies grises que sirvan como caminos, estos se localizaron en las cercanías de los árboles de mayor altura para reducir su efecto mediante la proyección de sombra de los árboles.

Figura 48a: Espacio verde simulado

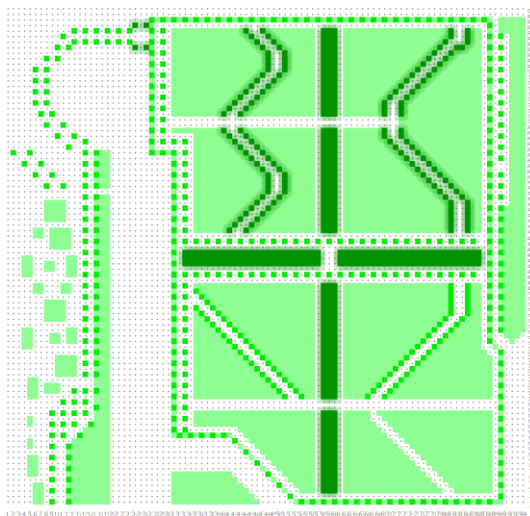
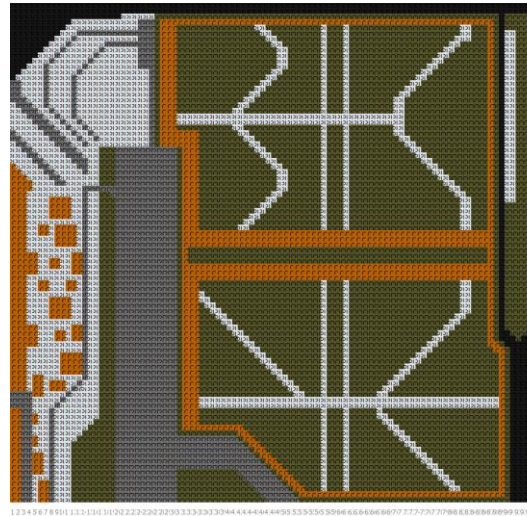


Figura 48b: Suelos espacio verde simulado



Fuente: Elaboración propia

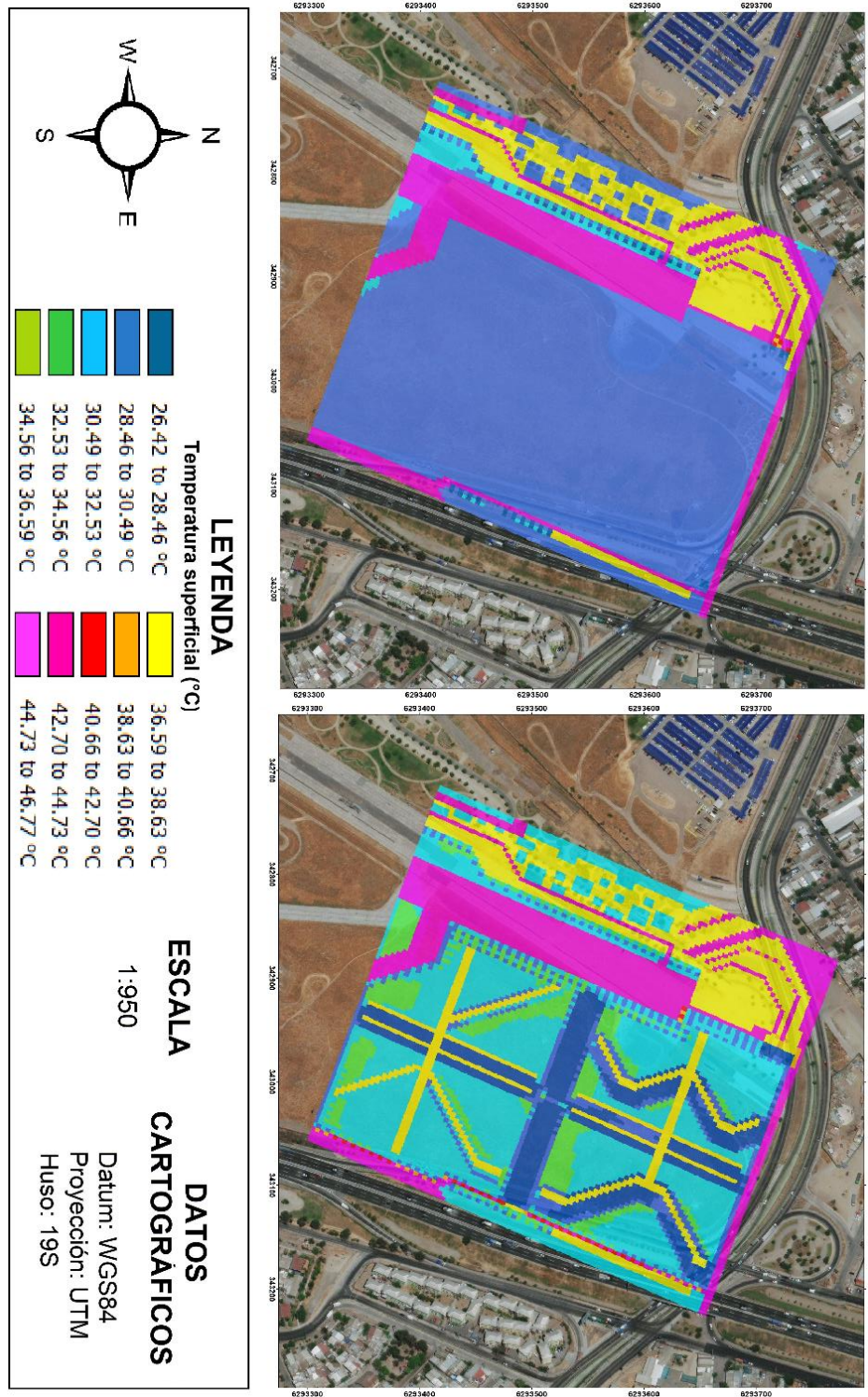
La figura 49 muestra la respuesta térmica para el paisaje actual y simulado, al igual que en el caso de Pedro Aguirre Cerda, las mayores temperaturas se emiten desde las calles, en este caso de asfalto, la calle al norte del sitio eriazo corresponde a Avenida Departamental y la calle al este a General Velásquez, ambas son vías de alto flujo vehicular donde su alrededor presenta escasa o bien nula vegetación, lo cual repercute en que emitan una temperatura entre 42°C y 46°C (la más alta dentro del paisaje evaluado), ahora bien, en la simulación se dotó de mayor cantidad de árboles de 5 metros al bandejón contiguo a General Velásquez, esto produjo una disminución de la temperatura muy localizada, emitiendo el asfalto entre 40°C y 42°C, cuando se encuentra cerca de la vegetación. La mayor temperatura de superficie también se presenta en el pavimento gris oscuro presente en la pista del ex aeropuerto Cerrillos y en las calles internas del parque, donde tampoco existe vegetación para reducir la intensidad de la temperatura. Una diferencia entre superficies urbanas se observa en el pavimento gris claro (presente en el parque y en el bandejón al este del sitio eriazo) que emite una temperatura menor, en el orden de los 36°C a los 38°C, es decir, casi 10°C menos en el mejor escenario; el comportamiento descrito ocurre tanto en el paisaje actual como en el simulado. Esta diferencia, se explica por el mayor albedo asociado a los colores claros, siendo una característica que considerar para las medidas de mitigación del efecto de la isla de calor urbana superficial.

A diferencia del parque André Jarlan, el paisaje actual del parque Bicentenario dispone de una menor cantidad de árboles, prevaleciendo mayores superficies de pasto, además los árboles presentes son de menor altura, y como se observó, las especies de 5 metros no generan una disminución pronunciada de la temperatura superficial; esto genera que no se puedan establecer zonas de menor temperatura dentro del parque, más allá de la localización propia de los árboles que emiten en un rango de 26°C a 30°C; mientras que el pasto por sí solo se alza entre los 30°C a los 32°C, en ambos casos muy por debajo de lo emitido por las superficies urbanas adyacentes. En la simulación se busca crear zonas extensas de confort térmico asociadas a la presencia de árboles de mayor altura es por lo que se dispuso longitudinal y transversalmente de una mayor concentración de especies de 15 metros, los resultados demuestran que el rango mínimo de temperaturas registradas (26°C a 30°C) tiene una mayor cobertura superficial por la producción de sombras (cubriendo tanto superficies naturales como artificiales). La dirección del viento (sureste) genera menos diferencias entre los valores obtenidos.

La distribución y la intensidad de la radiación solar recibida y reflejada se observa en la figura 50, en el paisaje actual debido a la menor cantidad de árboles hay menos impedimentos para que la energía irradiada por el sol llegue hasta el suelo, por tanto, esta llega en mayores cantidades, entre 806 w/m² a 883 w/m², la mayor radiación recibida se distribuye prácticamente en todo el paisaje; de esta se refleja entre 204 w/m² a 215 w/m², lo que corresponde al 24% de la radiación recibida a esa hora. Para el caso de la radiación reflejada se observa que, en el paisaje actual, el sitio eriazo refleja una mayor cantidad de radiación, sin embargo, esto no radiación no alteró los valores de temperatura superficial de la figura 49.

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

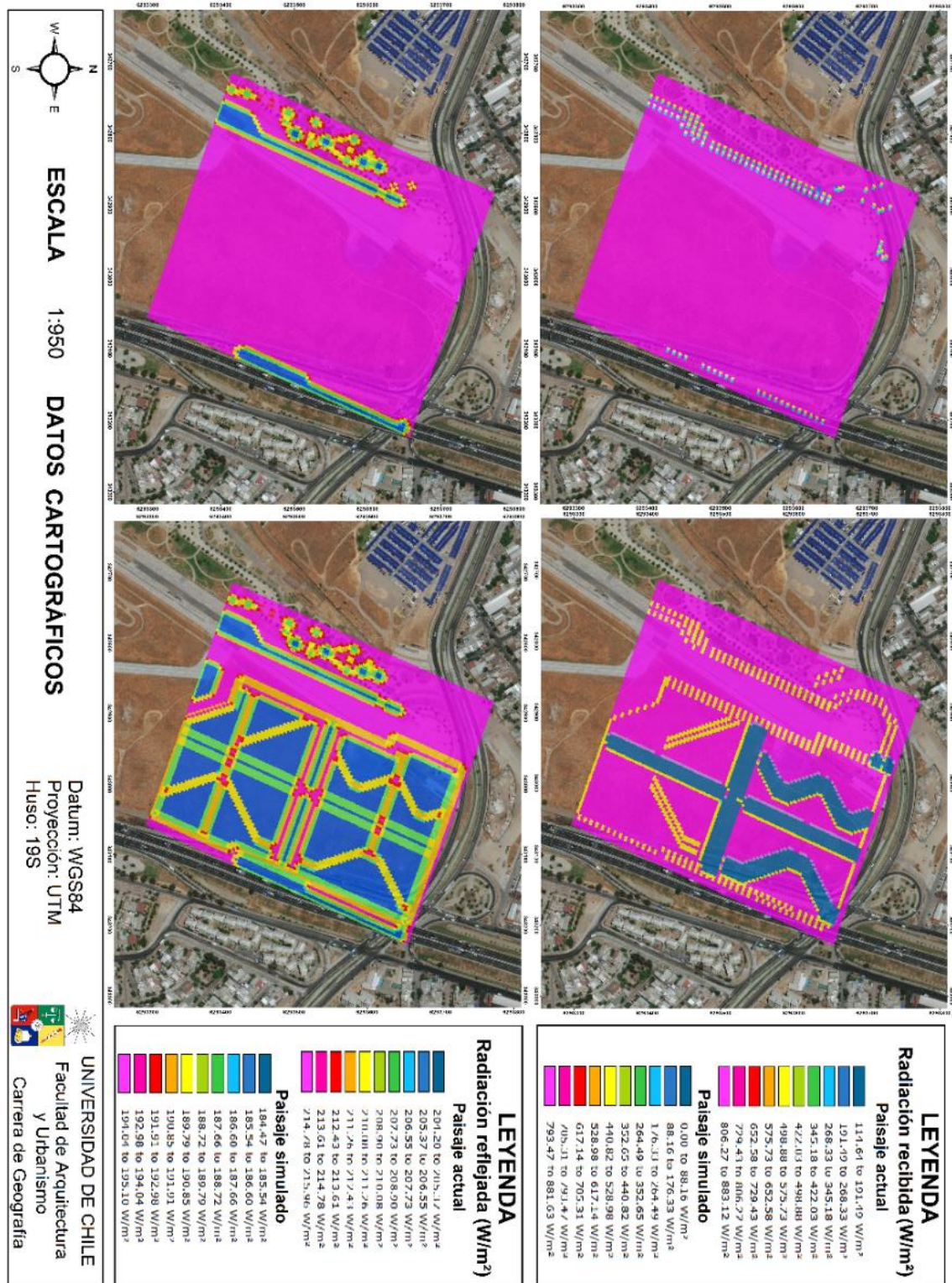
Figura 49: Temperatura superficial en el paisaje actual y en el paisaje simulado a las 16:00 horas



Fuente: Elaboración propia

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

Figura 50: Radiación directa y reflejada en el paisaje actual y simulado a las 16:00 horas



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 5: DISCUSIONES

De los espacios verdes reconocidos, no todos pueden considerarse como infraestructura verde pues, a partir de la fotointerpretación, no se observan las características intrínsecas vinculadas al concepto, es decir, que sean espacios abiertos, integrantes de una red interconectada, planificada para la provisión de múltiples servicios ecosistémicos vitales para la vida en la ciudad. En este sentido, rotondas y bandejones presentan dificultades para constituirse como infraestructura verde, ya que como se señaló, están diseñados para cumplir una función vinculada a la vialidad, por tanto, no son espacios pensados para el uso y beneficio de las personas ni la provisión de servicios, más allá de la mejora estética del paisaje. Para el caso de los espacios privados, su localización en el paisaje no se vincula directamente al aumento de beneficios sociales y ecológicos para la ciudad en su conjunto, pero sí pueden cumplir proveer diversos servicios ecosistémicos; otra consideración importante es que, al no existir un libre acceso hacia ellos, se dificulta la capacidad de integración dentro del paisaje. De manera que, el reconocimiento de la infraestructura verde en el pericentro sur alude a plazas y parques, espacios que su surgimiento sí se vincula directamente a la planificación urbana y que pueden proporcionar un conjunto variado de beneficios, más allá de su posible contribución a la reducción de la isla de calor urbana superficial.

A través de *Google Earth Engine*, se estableció el efecto enfriador de plazas y parques, de acuerdo a los resultados, se reconoce en los parques una isla de frescor que si bien no es intensa si parece clara, en cuatro de los siete parques evaluados se genera una diferencia de alrededor un 1°C entre el parque y su entorno inmediato a 100 metros, en los otros parques, estos se presentan igual o ligeramente más cálidos que su entorno. Para explicar las diferencias de comportamiento es necesario evaluar cada caso de manera aislada, sin embargo, se constatan ciertas condiciones que pueden condicionar la respuesta térmica como lo son: la presencia de los sitios eriazos en el paisaje y las características de la vegetación, de estos condicionantes, solo el primero fue evaluado en el presente trabajo, pues se observa que el efecto enfriador de los parques se ve más pronunciado en el paisaje cuando los sitios eriazos forman parte de este, como es el caso del parque Bicentenario de Cerrillos y André Jarlan de Pedro Aguirre Cerda. En relación al segundo punto, Fan et al. (2015) señala en su trabajo que una menor temperatura superficial es usualmente asociada a parches de vegetación largos, contiguos y compactos, de manera que patrones menos fragmentados reducen la temperatura de manera más efectiva que árboles dispersos, así como también la presencia de especies que proyecten una mayor sombra.

Para el caso de las plazas, estas se presentan con una temperatura superficial igual o ligeramente superior a su entorno adyacente a 50 metros, lo cual indica que su presencia no repercute en la reducción de la temperatura en el paisaje o bien que su posible efecto enfriador puede tomar lugar en un área adyacente menor; de una u otra manera se consigna que a diferencia de los parques, cuya temperatura emitida es en general más baja que la de su comuna, en las plazas ocurre lo contrario, ya que suelen presentar valores más altos que los de sus comunas. Como se señaló, las plazas se componen a partir de la

interrelación de tres elementos: una zona donde la vegetación dominante la constituyen los árboles de mayor tamaño cuyo solapamiento de sus copas genera un área de sombra; una zona donde predomina el pasto y vegetación herbácea de escasa altura y por último una zona donde las superficies impermeabilizadas conforman un lugar de encuentro (Stocco et al., 2013), para el autor las plazas que maximizan el beneficio térmico y ayudan a revertir los impactos negativos de la ICUs son aquellas que conjugan sus tres componentes en relación al grado de exposición a la radiación solar de cada una, es decir, deben considerar sombrear las superficies grises y en menor medida el pasto; para ello es fundamental consolidar la presencia de árboles dentro de las plazas como método de control de la radiación solar y de las temperaturas máximas durante el día. De acuerdo a la fotointerpretación, y en el caso de las plazas analizadas, se observa que en las plazas del área de estudio prevalecen las superficies urbanas; la menor vegetación en estos espacios repercute en sus valores de temperatura superficial, una explicación para tal situación puede encontrarse en la concepción de estos espacios para la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, donde se establecen como espacios que no tienen obligatoriedad de presentar un nivel determinado de vegetación. Si bien las plazas no reducen la temperatura superficial si contribuyen al bienestar de las comunidades al proporcionar servicios culturales como ser un soporte para la recreación y el descanso, permitir el desarrollo de la actividad física, convertirse en un lugar de encuentro, propiciar la cohesión social y el sentido de lugar.

Los resultados obtenidos de *Google Earth Engine*, evidencian que no se puede comprender el servicio ecosistémico de mitigación de la temperatura en exclusiva consideración de la cantidad de vegetación disponible ya que no se establecen correlaciones claras entre superficies verdes y temperatura; es así como las comunas con mayores superficies verdes no presentan temperaturas de emisión más bajas que aquellas con mayores superficies impermeabilizadas, por ejemplo, Cerrillos posee las mayores superficies de vegetación y de igual forma emite una temperatura mayor (2°C más) que San Miguel que posee la menor cantidad, de igual forma los parques de mayor tamaño tampoco son los que se presentan con menor temperatura superficial. Es importante consignar que, en la comparación entre macrozonas, se observa que el cono oriente (mayores superficies verdes) es visiblemente menos cálidos que el resto de las macrozonas, esto puede ser el resultado, no solo de la mayor disponibilidad de superficies, sino que, de las características de estas, junto con las particularidades de su paisaje y las condiciones inherentes a su localización geográfica.

Este trabajo solo evalúa los valores de temperatura emitidos durante el día (obtenidos a las 14:33 horas) para el verano del 2017, por lo que corresponde a la caracterización climática para un momento en particular, es deseable complementar estas mediciones con valores de temperatura superficial a lo largo del año, y además obtener valores de emisión nocturnos para generar una caracterización más acabada.

Sun & Chen (2016) señalan que los trabajos de mitigación de la ICU e ICUs a través del uso de infraestructura verde tienden a poner el foco en la cantidad sobre la calidad de esta, sin considerar aspectos como la evapotranspiración, albedo, y el suelo subyacente que son altamente importantes para la eficiencia de la mitigación de la temperatura en las ciudades.

Los autores también agregan que a pesar de lo bien documentado que se encuentra la contribución de los espacios verdes a la mitigación de la temperatura superficial, el impacto a escala de tiempo aún requiere una consideración adicional. Por lo que más investigaciones son requeridas para identificar los beneficios de la vegetación urbana a lo largo del tiempo dentro de un determinado sistema urbano. En este sentido, *Google Earth Engine* se convierte en una valiosa herramienta para tal propósito, al permitir acceder de manera fácil y rápida al registro de la serie *Landsat*, el más largo de observaciones basadas en satélites, pudiendo de esta forma caracterizar con mayor profundidad el fenómeno según los intereses de cada autor, en este caso se optó por trabajar con el verano 2017 pues retrata un alza de los valores de temperatura superficial de años anteriores.

El uso de *ENVI-met* incorpora variables cualitativas al uso de la vegetación en post de la mitigar el efecto de la isla de calor urbana superficial. En el *software* se observó la distribución espacial de la temperatura, pudiendo desglosar de forma particular la respuesta térmica de cada superficie a analizar. Las modelaciones realizadas permitieron establecer diferencias entre elementos dentro de una misma categoría, por ejemplo, el pavimento urbano (superficies impermeabilizadas) no emite una temperatura uniforme pues varía, en este caso cambió de acuerdo al color de este, siendo las coberturas más claras las que presentaban menores temperaturas superficiales, también la temperatura del pavimento urbano disminuye en la medida que entra en contacto con la vegetación, la intensidad con la que desciende es dependiente del tipo de vegetación, particularmente del tipo de árbol. Siguiendo la idea anterior, el *software* también permite determinar la influencia que ejercen los distintos tipos de árboles disponibles, estableciendo la importancia de las características de estos para obtener los mayores beneficios térmicos; si bien las características diferenciadoras son generales y no están especificadas (altura, tipo de follaje, tipo de tronco), es posible recrear la realidad de los paisajes evaluados. Los resultados indican que la forma más efectiva de crear una isla de frescor es mediante la presencia de árboles de mayor tamaño, desde 15 a 25 metros según los parámetros del programa, esto como resultado de la mayor producción de sombras, mayor evapotranspiración, mayor obstáculo para la radiación solar y menor radiación reflejada. Además, como se mencionó, es importante que los árboles se dispongan en el paisaje de forma contigua y compacta para potenciar su efecto mitigador en el paisaje.

La conversión de sitios eriazos en espacios verdes debe considerar que la prestación de servicios ecosistémicos de mitigación térmica no es equivalente entre la pérdida y expansión de los espacios verdes. Sun & Chen (2016) evaluaron los efectos de la plantación de nuevos espacios verdes en Beijing y determinaron que el efecto enfriador de aquellos espacios eran menores a los esperados; dos factores contribuyen a esta situación: la menor evapotranspiración de la vegetación recientemente plantada y un suelo subyacente menor, junto con un menor albedo en áreas recientemente plantadas, producido por lo escaso y pequeño de los árboles. De manera que hay que considerar que los resultados de las simulaciones se basan en especies ya consolidadas en su crecimiento, adquiriendo importancia la escala temporal para notar los beneficios térmicos de la potencial conversión de los sitios eriazos en espacios verdes. Otra consideración importante del uso de *ENVI-met* es la limitación del programa para dar cuenta de la mayor temperatura emitida desde

los sitios eriazos (que corresponden a superficies naturales) como se observó, estos espacios reciben casi sin obstáculos la radiación del sol, pero reflejan la radiación como vegetación, generando así una menor temperatura superficial, lo cual no se condice con los resultados de *Google Earth Engine* donde se evidencia la mayor temperatura emitida. De manera que se dificulta cuantificar el beneficio térmico que puede traer la potencial conversión de los sitios eriazos en parques urbanos, de igual forma esto no invalida el uso del programa para establecer otras diferencias en el comportamiento térmico como las señaladas anteriormente. Al igual que con los sitios eriazos, *ENVI-met* no retrata de manera fiel la temperatura emitida desde las viviendas que como se observa en las simulaciones poseen un comportamiento similar a la vegetación, siendo que debería ser semejantes a las calles, evidenciándose un claro desajuste entre los antecedentes bibliográficos y los resultados del programa.

El máximo beneficio del uso de *ENVI-met* se asocia a la creación de espacios vegetados con zonas de amortiguamiento térmico entre el borde de este y posibles áreas de interés, algunas dificultades para llevar a cabo el proceso se vinculan a las limitaciones de la grilla o cuadrícula en la versión a prueba de *ENVI-met*, como se señaló, esta versión tiene un tope de 100 cuadrículas para el eje x, misma cantidad para el eje y, y 40 para el eje Z. De manera que no fue posible acceder a todo el potencial del programa y realizar un trabajo de mayor detalle, que incluya la delimitación de potenciales área de influencia a 100 y 200 metros como se realizó en *Google Earth Engine*.

La caracterización del clima urbano es posible realizarla a partir de tres métodos diferentes, los cuales son complementarios entre sí, estos son: la teledetección que a través de sensores situados en satélites captan la temperatura radiante de las superficies urbanas permitiendo un análisis de su distribución y la correlación con variables urbanas, la comparación entre observatorios meteorológicos urbanos y rurales, el cual permite establecer los rasgos principales del clima de la ciudad; y los recorridos o transectos térmicos, que a través de instrumentos instalados sobre vehículos permiten trazar mapas y perfiles detallados del comportamiento térmico y (Fernández, 2016). Estas metodologías se encuentran ampliamente difundidas y aceptadas en el desarrollo de la climatología urbana, en el presente trabajo se empleó con la teledetección como principal herramienta y se consultó en menor medida los datos de estaciones meteorológicas, de igual forma se utilizó otro método a los anteriormente señalados, como es *ENVI-met* (modelo de simulación), a pesar de la utilidad del programa sigue siendo necesario complementar los datos de temperatura superficial con los de temperatura del aire, por lo que para profundizar en este estudio de caso se hace necesaria la toma de mediciones en terreno del efecto enfriador que pueden tener los espacios verdes evaluados, además de correlacionar los resultados con condiciones sinópticas.

Los puntos anteriores discuten las características que deben adquirir los espacios verdes para maximizar su beneficio térmico, sin embargo, no se ha hecho hincapié en la disponibilidad de los terrenos evaluados para ser sometidos a un proceso de renovación urbana. De acuerdo al catastro del SII (2015), el caso del ex aeropuerto Cerrillos es particularmente importante pues corresponde a un terreno de gran especulación para suplir

necesidades de viviendas sociales y que no presenta restricciones para el desarrollo de tal proyecto pues es un sitio eriazo que no presenta condiciones normativas que limiten su uso para tal propósito y principalmente no genera limitaciones en materia de valor de suelo pues no es un sector donde el valor de suelo es superior al que las personas al que está enfocado el proyecto puedan pagar. Por lo tanto, a diferencia del caso en Pedro Aguirre Cerda, convertir el sitio eriazo colindante al parque Bicentenario requeriría de una mayor voluntad política para convertir este gran espacio vacante en un parque urbano, que podría constituirse como un pulmón verde no solo para el pericentro sur, sino que para toda la ciudad de Santiago; la importancia de este terreno, de acuerdo a Smith & Romero (2016), es que desde allí se genera un efecto enfriador durante el día, permitiendo el ingreso de masas de aire, las cuales ventilan la ciudad esto debido al predominio de la dirección suroeste de los vientos.

Los planificadores ampliamente han reconocidos los efectos positivos de la infraestructura verde en ambientes urbanos, por lo que es cada vez más frecuente encontrar diseños del paisaje basados en aproximaciones ecosistémicas, que asignan importancia a la vegetación como elementos dinámicos que permanentemente interactúan con el medio atmosférico y no solamente con la estética urbana; para Fan et al. (2015) este escenario es un indicador del cambio progresivo que está sufriendo el paradigma. Si antes la planificación territorial concebía los espacios verdes mayoritariamente, en base a su beneficio estético, en la actualidad es cada vez más frecuente que se complejice la percepción de estos, enfatizando en la alta gama de beneficios físicos e intangibles que proporcionan. En este trabajo se priorizó evaluar el servicio de mitigación de la isla de calor urbana en superficie, sin embargo, los proyectos de planificación urbana deben concentrarse en los variados servicios ecosistémicos que pueden proporcionar los distintos tipos de infraestructura verde, a saber: mejorar la calidad del aire, reducir la contaminación por ruido, ayudar a la protección y conservación del suelo y el agua, sostener la biodiversidad urbana, proporcionar un espacio de recreación a la población, mejorar la estética del paisaje, entre otros. Para lograr una promoción efectiva de los servicios ecosistémicos desde la academia a la práctica, Fan et al. (2015) señala que es menester un mejor entendimiento de los intercambios y relaciones entre los diferentes servicios proporcionados.

Tal como señalan Smith & Romero (2016), la climatología urbana debe ser parte de la planificación y gestión sustentable de las ciudades chilenas, y en particular de Santiago pues la capital acoge la mayor parte de la población nacional. La injerencia de la climatología urbana debe adquirir más importancia considerando la mayor frecuencia e intensidad de episodios que aumentan el estrés térmico en las ciudades, como las ondas de calor. Además, es importante que la disciplina tenga un rol activo en la planificación de medidas que reduzcan la vulnerabilidad derivada de la existencia de nuevas condiciones climáticas, a partir de este punto cobra importancia la infraestructura verde pues según Vásquez (2016) contribuye de dos maneras a enfrentar el cambio climático, en primer lugar, aumentando el nivel de resiliencia de las ciudades y en segundo lugar, aumentando la provisión de servicios ecosistémicos que permitan enfrentar aspectos específicos relacionados con el cambio climático. Romero (2017) señala que tanto la ciudad como los

ciudadanos deben asegurar la reducción de las temperaturas y no su incremento, como sucede en la actualidad. Para ello, también es necesario contar con mediciones frecuentes y detalladas para obtener series de tiempo de temperatura consistentes en el espacio y en el tiempo, así como una institución comprometida con la mejor condición ambiental de sus paisajes urbanos que se propongan a mejorar los niveles de calidad de vida de la población.

CAPITULO 6: CONCLUSIONES

El presente trabajo buscó encontrar un punto de intersección entre isla de calor urbana en superficie, infraestructura verde y servicios ecosistémicos, para ello, se articularon estos conceptos en base a la mitigación del efecto de la ICUs a través de la conversión de sitios eriazos en espacios verdes, lo que implica la mayor provisión de los distintos servicios ecológicos derivados de la vegetación, enfatizando en su rol como regulador del clima local.

Se establece que el balance de temperatura superficial en ambientes urbanos puede condicionarse en respuesta a variaciones en las coberturas/usos de suelo, pues con la misma radiación la respuesta térmica de los distintos materiales que cubren el paisaje es diferente, por lo tanto, se trata de un aspecto que es posible manipular, principalmente a una menor escala. Bajo este escenario, la vegetación juega un importante rol en el clima urbano y en la mitigación de la ICUs ya que la vegetación urbana es capaz de reducir el calor almacenado en el tejido urbano, reduciendo la energía absorbida por las superficies impermeabilizadas que dominan el paisaje. El uso de vegetación, en especial de árboles, absorbe parte de la energía radiante contribuyendo de manera significativa al efecto enfriador, como se ha señalado, a través de la producción de sombra y el proceso de evapotranspiración, ambos efectos se encuentran de forma limitada en ambientes urbanos producto de la baja presencia de vegetación, situación que intensifica en el área de estudio, de manera que es deseable que la vegetación disponible en las ciudades sea capaz de crear zonas más frías, las llamadas islas de frescor (o bien isla fría).

El uso de la vegetación es esencial para que las ciudades tengan la capacidad de regular el clima local, al combatir las concentraciones de calor, pero también es fundamental para proveer una amplia gama de beneficios, entre los más importantes beneficios de regulación se encuentra la regulación de la calidad del aire, regulación de la erosión, mejora de la infiltración y drenaje de aguas, reducción del ruido; entre los beneficios culturales proporcionados destaca la integración social, recreación, belleza escénica y la mejorara en la salud mental y física de personas. Ante los múltiples beneficios y beneficiados a partir del aumento en la cantidad y calidad de la vegetación es que el mejoramiento del confort en las ciudades no solo debe ser pensado en la creación de nuevos espacios, también se debe aumentar la calidad de los espacios existentes, como se observó en el trabajo, en su mayoría públicos como plazas y parques. Se necesitan plazas (la tipología más abundante y de uso cotidiano) que además de embellecer los barrios, ofrezcan una condición térmica diferente al ambiente donde se insertan; al igual que los parques, si bien son sitios de visita más esporádica deberían garantizar la entrega de beneficios a una mayor escala, enfatizando en su capacidad de convertirse en una isla de frescor.

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

A partir de los resultados en *ENVI-met*, se consigna que el máximo aprovechamiento de la versión utilizada puede ser obtenido al trabajar con espacios de menor superficie como plazas. De esta manera, es posible recrear el paisaje y obtener resultados con un mayor nivel de detalle, al trabajar con una grilla de menor a 5 metros como se utilizó en el presente trabajo.

CAPITULO 7: BIBLIOGRAFÍA

- Ángel, L., Ramírez, A. & Domínguez, E. (2010). Isla de calor y cambios espacios-temporales de la temperatura en la ciudad de Bogotá. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 131, pp. 173-183.
- Arango, M, Branch, J. & Botero, V. (2005). Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre imágenes digitales de sensores remotos: "LANDSAT – ETM+". *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 58, pp. 2611-2634.
- Barot, S., Yé, L., Abbadiea, L., Blouinc, M. & Frascaria-Lacoste, N. (2017). Ecosystem services must tackle anthropized ecosystems and ecological engineering. *Ecological Engineering* 99, pp. 486-495.
- Benedict, M. & McMahon, E. (2002). *Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century*. Sprawl watch clearinghouse monograph series.
- Benedict, M. & McMahon, E. (2006). *Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities*.
- Biblioteca Nacional del Congreso (2018). Decreto 47. Recuperado de << <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=8201> >>
- Borrás, J., Delegido, J., Pezzola, A., Pereira, M., Morassi, G. & Camps-Valls, G. (2017) Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes Sentinel-2. *Revista de teledetección* 48, pp. 55-66.
- Capelli, A., Piccolo, M., Hernández, J. & Navarrete, G. (2001). La isla de calor estival en Temuco, Chile. *Papeles de Geografía* 33, pp. 49-60.
- Cooperativa (09 de enero de 2015). Temperatura máxima en Santiago alcanzó los 36,8 grados. *Radio Cooperativa*. Recuperado de << <https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/tiempo/temperatura-maxima-en-santiago-alcanzo-los-36-8-grados/2015-01-09/181644.html> >>
- Cooperativa (25 de enero de 2017). Santiago vivió este miércoles su día más caluroso en la historia. *Radio Cooperativa*. Recuperado de << <https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/tiempo/santiago-vivio-este-miercoles-su-dia-mas-caluroso-en-la-historia/2017-01-25/183149.html> >>
- Cooperativa (24 de julio de 2018). Alerta en Japón: Ola de calor deja 65 muertos. *Radio Cooperativa*. Recuperado de << <https://www.cooperativa.cl/noticias/mundo/japon/alerta-en-japon-ola-de-calor-deja-65-muertos/2018-07-24/044248.html> >>
- Crank, P., Sailor, D., Ban-Weiss, G. & Taleghani, M. (2018). Evaluating the ENVI-met microscale model for suitability in analysis of targeted urban heat mitigation strategies. *Urban climate* 25, pp. 188-197.

Dardier, V. (2005). Funciones de las rotondas urbanas y requerimientos urbanísticos de organización.

Debbage, N., & Shepherd, J. (2015). The urban heat island effect and city contiguity. *Computers, Environment and Urban Systems* 54, pp. 181-94.

De la Barrera, F. (s/f). Nueve metros cuadrados por habitante. Centro de Desarrollo Urbano Sostenible CEDEUS. Recuperado de << <https://www.cedeus.cl/nueve-metros-cuadrados-por-habitante/>>>

Elmqvist, T., Setälä, H., Handel, S., Van der Ploeg, S., Aronson, J., Blignaut, J., Gómez-Baggethun, E., Nowak, N., Kronenberg, J. & De Groot, R. (2015). Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 14, pp. 101-108.

Fan, C., Myint, S. & Zheng, B. (2015). Measuring the spatial arrangement of urban vegetation and its impacts on seasonal surface temperatures. *Progress in Physical Geography* 39, pp. 199–219.

Fernández, F., Álvarez, F., Rasilla, D., Martilli, A. & Alcaide, J. (2016). Estudio de detalle del clima urbano de Madrid. Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio de la Universidad de Cantabria.

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago (2014). Política Regional de Áreas Verdes.

Gómez, E. (2006). Guía básica de conceptos de radiometría y fotometría. Universidad de Sevilla.

González, P. (2011). Evaluación microclimática por cambio de uso de suelo en la Ciudad de México utilizando el modelo ENVI-met. Tesis para evaluar la experiencia educativa Experiencia Recepcional (MEIF) del P.E.: Licenciatura en Ciencias Atmosféricas. Universidad Veracruzana.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment* 202, pp. 18-27.

Gunawardena, K., Wells, M. & Kershaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment* 609, pp. 1040-1055.

Guzmán, J. (2017). La Gestión Municipal de áreas verdes en el gran Santiago: problemáticas, inversión y resultados a nivel comunal. Fundación Mi Parque.

Hernández, J. (2011). Procesamiento digital de imágenes. Apuntes de Clases. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile.

Huber, A., Oyarzun, C., Álvarez, L. & Araya, E. (1988). Características de la radiación solar en un bosque de *Pinus radiata*, en Valdivia, Chile. *Bosque* 9, pp. 115-121.

Instituto Nacional de Estadísticas. (2003). Síntesis de resultados CENSO 2002.

Instituto Nacional de Estadísticas. (2018). Síntesis de resultados CENSO 2017.

La Tercera (2017). Chile tuvo su segundo verano más caluroso en más de 50 años. Recuperado de << <https://www.latercera.com/tendencias/noticia/2017-chile-tuvo-segundo-verano-mas-caluroso-mas-50-anos/265652/> >>

León, Y. (2013). Parques ribereños como infraestructura urbana para enfrentar el cambio climático en las ciudades. Caso de estudio río Mapocho. Memoria para optar al título de geógrafa. Universidad de Chile

Lizarazo, I. (2008). Clasificación de la cobertura y del uso del suelo urbano usando imágenes de satélite y algoritmos supervisados de Inteligencia Artificial. UD y la geomática 2, pp. 4-18.

Meeros, S. & Newell, J. (2017). Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit. Landscape and Urban Planning 159, pp. 62-75.

Millennium Ecosystem Assessment (2005). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis.

Ministerio de Desarrollo Social (2018). Estimaciones comunales de pobreza por ingresos y multidimensional.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2009). Manual de vialidad urbana. Recomendaciones para el diseño de elementos de infraestructura vial urbana.

Mohajerani, A., Bakaric, J. & Jeffrey-Bailey, T. (2017) The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. Journal of Environmental Management 197, pp. 522-538.

Moreno, R. (2016). Análisis de la influencia de los emigrantes del cono de alta renta en los cambios espaciales de la segregación residencial en el Gran Santiago. Periodos: 2002 y 2015. Tesis para optar al grado de Magíster de Geografía; Mención Organización Urbano Regional. Universidad de Chile.

Núñez, P. (2 de junio de 2017). Lo que hace falta para reducir el déficit de áreas verdes urbanas. Pulso. Recuperado de << <http://www.pulso.cl/empresas-mercados/pulso-ciudad/lo-falta-reducir-deficit-areas-verdes-urbanas/> >>

Organización Panamericana de la Salud (2016). Planificación urbana, salud y sostenibilidad: el caso de las áreas verdes en Santiago de Chile. ¿Cómo avanzamos hacia el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible?

Palme, M., Lobatob, A. & Carrasco, C. (2016). Quantitative analysis of factors contributing to urban heat island effect in cities of latin-american pacific coast. Procedia Engineering 169, pp. 199-206.

Parastatidis, D., Mitraka, Z., Chrysoulakis, N. & Abrams, M. (2017). Online Global Land Surface Temperature Estimation from Landsat. Remote Sens. 2017, 9, 1208.

Park, J., Kima, J., Lee, D., Park, C. & Jeong, S. (2017). The influence of small green space type and structure at the Street level on urban heat island mitigation. *Urban Forestry & Urban Greening* 21, pp. 203-212.

Picone, N. (2017). Comparación de imágenes satelitales Sentinel 2 y Landsat 8 en el estudio de áreas urbanas. V Congreso Nacional de Geografía de Universidades Nacionales. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

Pulighe, G., Fava, F. & Lupia, F. (2016). Insights and opportunities from mapping ecosystem services of urban green spaces and potentials in planning. *Ecosystem Services* 22, pp. 1-10.

Razzaghmanesha, M., Beechama, S. & Salemi, T. (2016). The role of green roofs in mitigating Urban Heat Island effects in the metropolitan area of Adelaide, South Australia. *Urban Forestry & Urban Greening* 15, pp. 89-102.

Reyes, S. (s/f). Árboles: vitales para la resiliencia de la ciudad. Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS). Recuperado de << <https://www.cedeus.cl/arboles-vitales-para-la-resiliencia-de-la-ciudad/> >>

Reyes, S. & Figueroa, I. (2010). Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. *Revista EURE* vol. 36, n°19, pp. 89-110.

Riffo, D. (2014). La radiación solar y las plantas: un delicado equilibrio. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria* 74, pp. 40-44.

Rivera, A. (2016). Espacios vacantes en el pericentro del Gran Santiago. Análisis tipológico y factores que condicionan sus procesos de regeneración desde la perspectiva de los actores involucrados. Tesis para optar al grado de Magíster en Urbanismo. Universidad de Chile.

Romero, H. & Molina, M. (2008). Relación espacial entre tipos de usos y coberturas de suelos e islas de calor en Santiago de Chile. *Anales Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas* 2007 Vol. 1, pp. 223-230.

Romero, H. & Sarricolea, P. (2006). Patrones y factores de crecimiento espacial de la ciudad de Santiago de Chile y sus efectos en la generación de islas de calor urbanas de superficie.

Romero, H. & Sarricolea, P. (2010). Análisis de los factores condicionantes sobre las temperaturas de emisión superficial en el área metropolitana de Valparaíso, Chile. *ACE: Architecture, City and Environment* 14, pp. 79-96.

Romero, H., Salgado, M. & Smith, P. (2010). Cambios climáticos y climas urbanos: Relaciones entre zonas termales y condiciones socioeconómicas de la población de Santiago de Chile. *Revista INVI* 25, pp. 151-179.

Romero, H. (2017). Ondas e islas de calor en Santiago. Columnas de opinión de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Recuperado de << <https://fauopina.uchilefau.cl/ondas-e-islas-de-calor-en-santiago/> >>

Rossi, F., Pisello, A., Nicolini, A., Filippini, M. & Palombo, M. (2014). Analysis of retro-reflective surfaces for urban heat island mitigation: A new analytical model. *Applied Energy* 114, pp. 621-631.

Sandoval, G. (2016). Propuesta de corredores verdes potenciales en el Paisaje Metropolitano de Santiago de Chile mediante una modelación en Sistemas de Información Geográfica. Tesis de Magister, Departamento de Ingeniería Geográfica. Universidad de Santiago.

Santamouris, M. (2013). Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26, pp. 224-240.

Sarricolea, P., Aliste, E., Castro, P. & Escobedo, C. (2008). Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos. *Revista de Climatología* 8, pp. 71-84.

Sarricolea, P. (2012). La isla de calor urbana de superficie y sus factores condicionantes: El caso del área metropolitana de Santiago. Tesis doctoral, Departamento de geografía física y análisis geográfico regional. Universidad de Barcelona.

Sarricolea, P. & Martín-Vide, D. (2013). La isla de calor urbana del área metropolitana de Santiago (AMS) de Chile a partir de diferencias térmicas de los observatorios de Talagante y Cerrillos. *Perspectiva Geográfica* 18, pp. 39-256.

Sarricolea, P. & Martín-Vide, D. (2014). El estudio de la Isla de calor urbana de superficie del Área Metropolitana de Santiago de Chile con imágenes Terra-MODIS y análisis de componentes principales. *Revista de Geografía Norte Grande* 57, pp.123-141.

Sepúlveda, O. (2016). Análisis de las temperaturas mínimas del área urbana y rural de Santiago (1911-1982): caracterización de la intensidad de la isla de calor en el contexto del calentamiento y cambio climático. Tesis para optar al grado de Magíster en Geografía con mención en Organización Urbano Regional. Universidad de Chile.

Servicios de Impuestos Internos (2015). Estudio “caracterización de zonas con potencial para densificación en comunas pericentrales de Santiago”.

Smith, P. (2011). Distribución termal intraurbana en Santiago de Chile. Aporte a la gestión ambiental de la ciudad a partir de la construcción de un modelo que permita generar un mapa térmico de verano. Tesis para optar al grado de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental. Universidad de Chile.

Smith, P. & Romero, H. (2016). Factores explicativos de la distribución espacial de la temperatura del aire de verano en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 63, pp. 45-62.

Small, N., Munday, M. & Durance, I. (2017). The challenge of valuing ecosystem services that have no material benefits. *Global Environmental Change* 44, pp. 57–67.

Sosa, Y. (2005). Análisis multitemporal de la cobertura de la tierra de la subcuenca del río Mocal, Iempira, Honduras, durante el periodo de los años 1988 al 2014. Tesis para optar al grado de Máster en Ordenamiento y Gestión del Territorio. Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

Stocco, S., Cantón, M. & Correa, E. (2013). Evaluación de las condiciones térmicas de verano y eficiencia ambiental de distintos diseños de plazas urbanas en Mendoza, Argentina. *Revista Hábitat Sustentable* 3, pp. 19-34.

Stone, B., Hess, J. & Frumkin, H. (2010). Urban form and extreme heat events: Are sprawling cities more vulnerable to climate change than compact cities?. *Environ Health Perspect* 118, pp. 1425-1428

Suárez, A., Camarena, P., Herrea, I & Lot, A. (2011). Infraestructura verde y corredores ecológicos de los pedregales: ecología urbana del sur de la Ciudad de México. Universidad Nacional Autónoma de México.

Sun, R. & Chen, L. (2017). Effects of green space dynamics on urban heat islands: Mitigation and diversification. *Ecosystem Services* 23, pp. 38-46.

Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kazmierczak, A., Niemela, J. & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban áreas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning* 81, pp. 167-178.

Unión Europea (2014). Construir una infraestructura verde para Europa.

Universidad de Murcia (s/f). Capítulo 10: Teledetección. Recuperado de << https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_10.pdf >>

Vásquez, A., Romero, H., Fuentes, C., López, C. & Sandoval, G. (2008). Evaluación y simulación de los efectos ambientales del crecimiento urbano observado y propuesto en Santiago de Chile.

Vásquez, A. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande* 63, pp. 63-86.

Vera, D. (2014). Estudio y mejora de la fluidez del tránsito mediante el diseño de una rotonda en la intersección los robles – Los Laureles, Valdivia. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Universidad Austral de Chile.

Yang, L., Qian, F., Song, D. & Zheng, K. (2016). Research on Urban Heat-island Effect. *Procedia Engineering* 169, pp. 11-18.

Wang, Q., Shi, W., Li, Z. & Atkinson, M. (2016). Fusion of Sentinel-2 images. *Remote Sensing of Environment* 187, pp. 241–252.

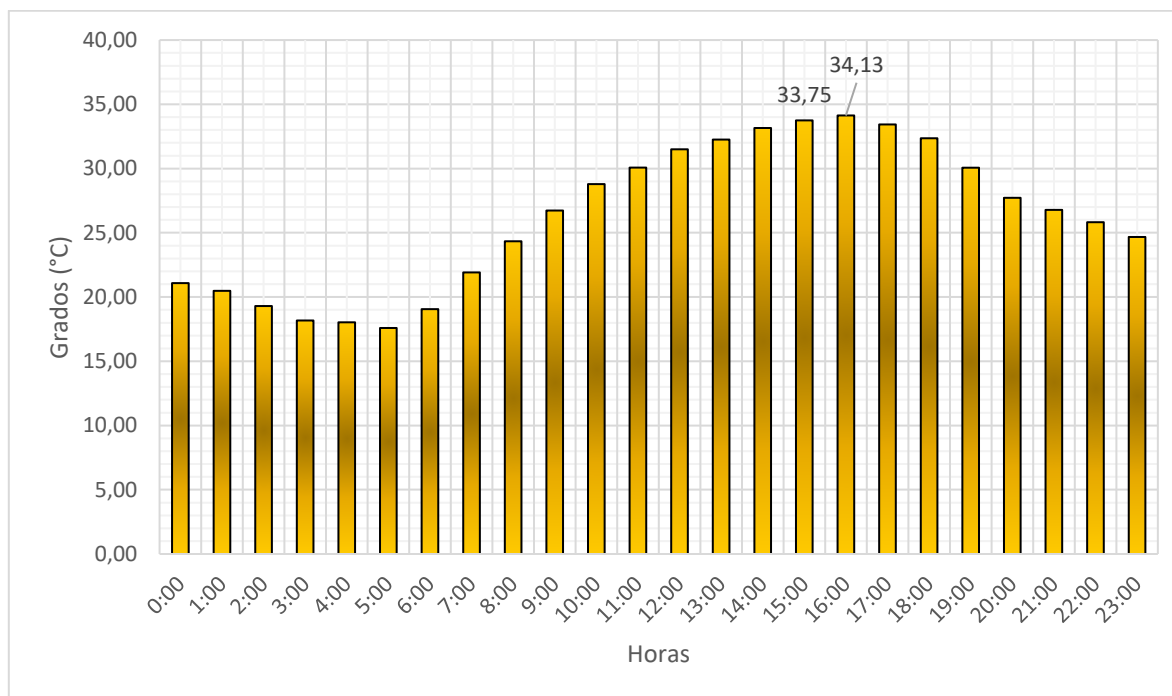
Withnall, A. (24 de julio de 2018). Japan declares heatwave a natural disaster as death toll soars to record high. *Independent*. Recuperado de <<

Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

<https://www.independent.co.uk/news/world/asia/japan-heatwave-latest-death-toll-killed-natural-disaster-hot-weather-high-a8461336.html> >>

CAPITULO 8: ANEXOS

Anexo 1: Temperatura registrada por estación Cerrillos el 11 de febrero de 2017



Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Cantidad de espacios verdes (m²) según tipología

Comunas	Bandejón	Rotonda	Plaza	Parque	Privados	Total verde
Cerrillos	300.856	23.259	273.555	574.845	580.237	1.752.751
Lo Espejo	134.661	28.034	224.620	59.358	6.6580	513.253
PAC	161.631	16.685	157.221	264.944	120.480	720.961
La Cisterna	32.695	4.183	120.466	0	34.1150	498.495
San Ramon	11.937	0	244.356	83.131	28.956	368.379
San Miguel	18.906	4.254	85.283	87.976	88.792	285.210
San Joaquín	60.954	0	117.401	176.893	98.937	454.185
La Granja	48.681	4.509	271.588	363.742	153.778	842.298
Total	770.321	80.923	1.494.490	1.610.890	1.478.908	5.435.533

Fuente: Elaboración propia

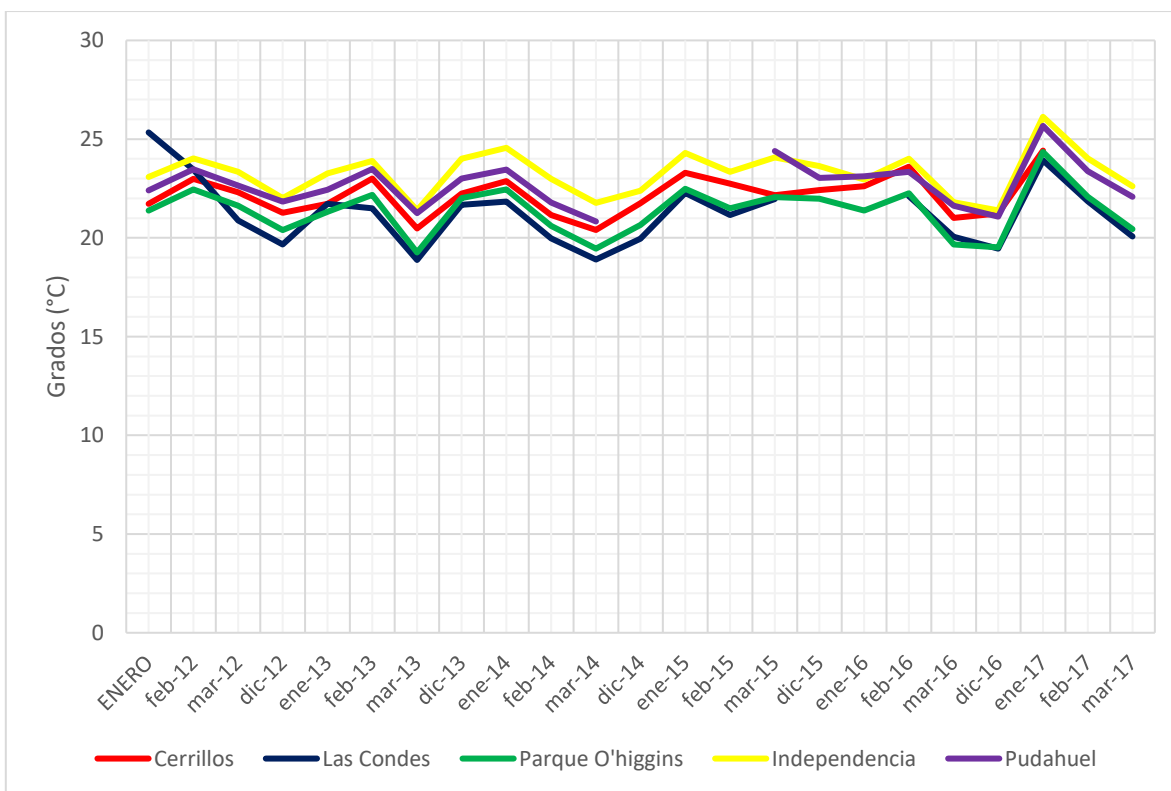
Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

Anexo 3: Valores obtenidos (°C) desde el Landsat 8

Fecha	Pericentro poniente	Pericentro norte	Pericentro sur	Periferia compacta	CORE	Cono oriente
01 de enero de 2017	31,14	31,29	31,63	30,57	30,77	28,57
17 de enero de 2017	34,26	34,45	35,08	34,45	33,75	31,81
02 de febrero de 2017	28,47	29,20	28,63	28,34	28,35	26,80
18 de febrero de 2017	27,65	27,66	27,94	27,35	26,65	24,76
06 de marzo de 2017	28,65	28,96	29,09	28,45	27,89	26,81

Fuente: Elaboración propia

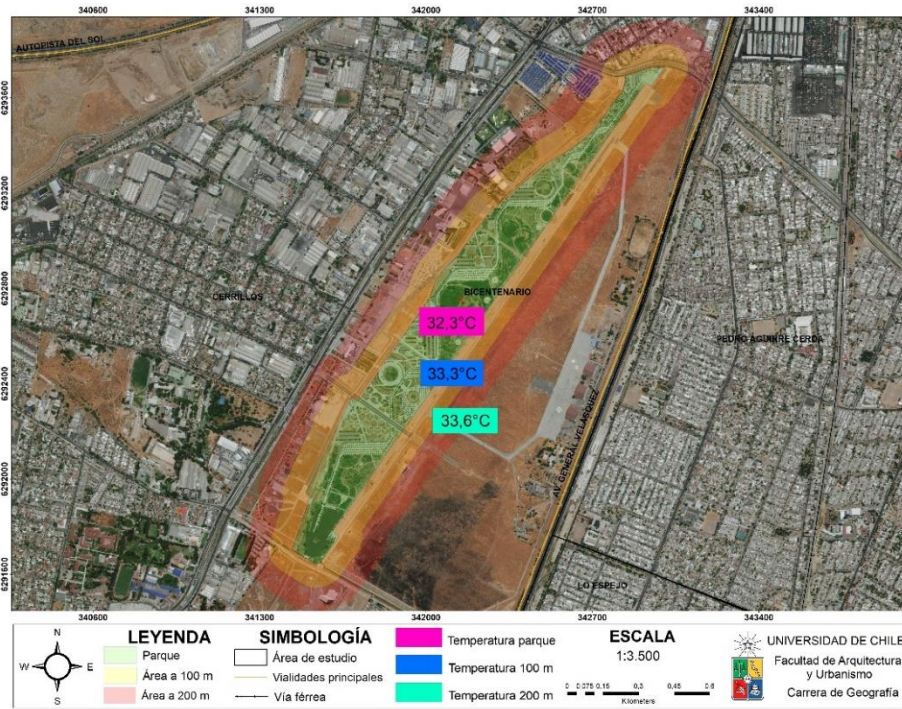
Anexo 4: Promedios de temperatura atmosférica en meses de verano para estaciones del SINCA



Fuente: Elaboración propia

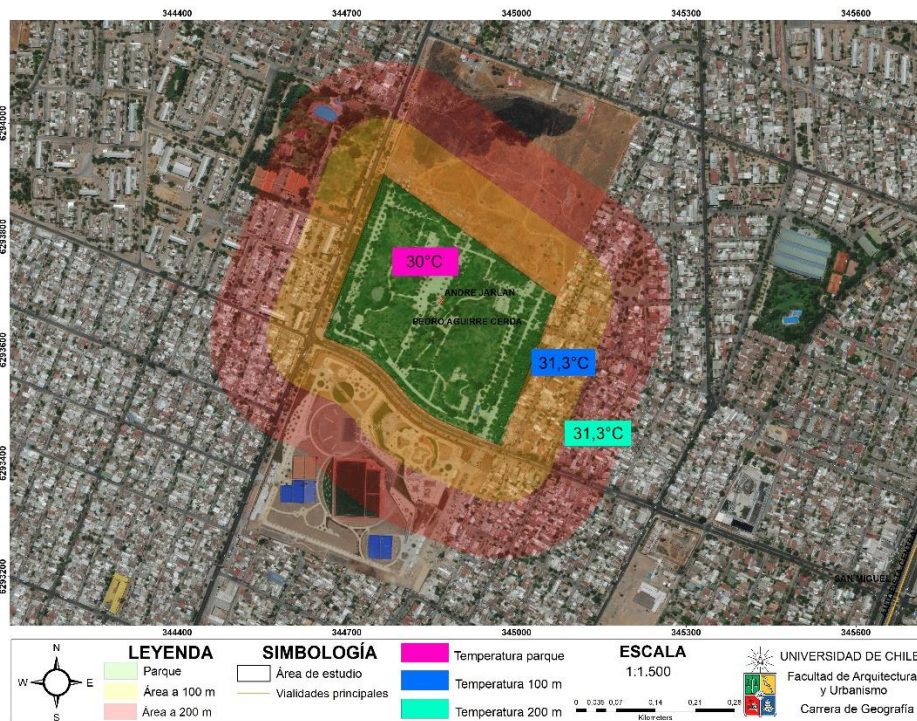
Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

Anexo 5: Parque Bicentenario



Fuente: Elaboración propia

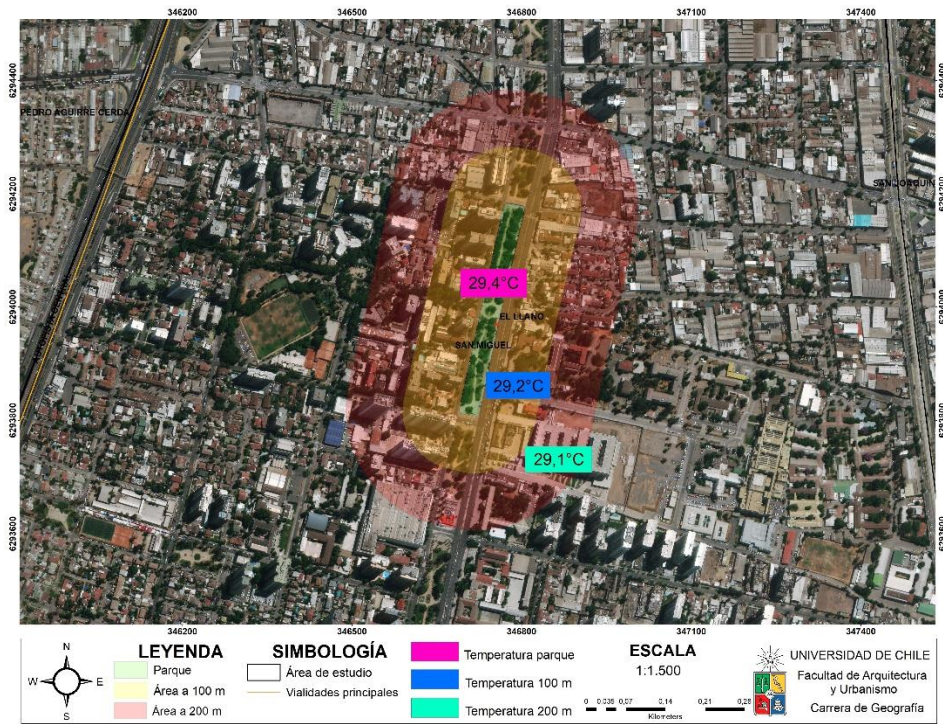
Anexo 6: Parque André Jarlan



Fuente: Elaboración propia

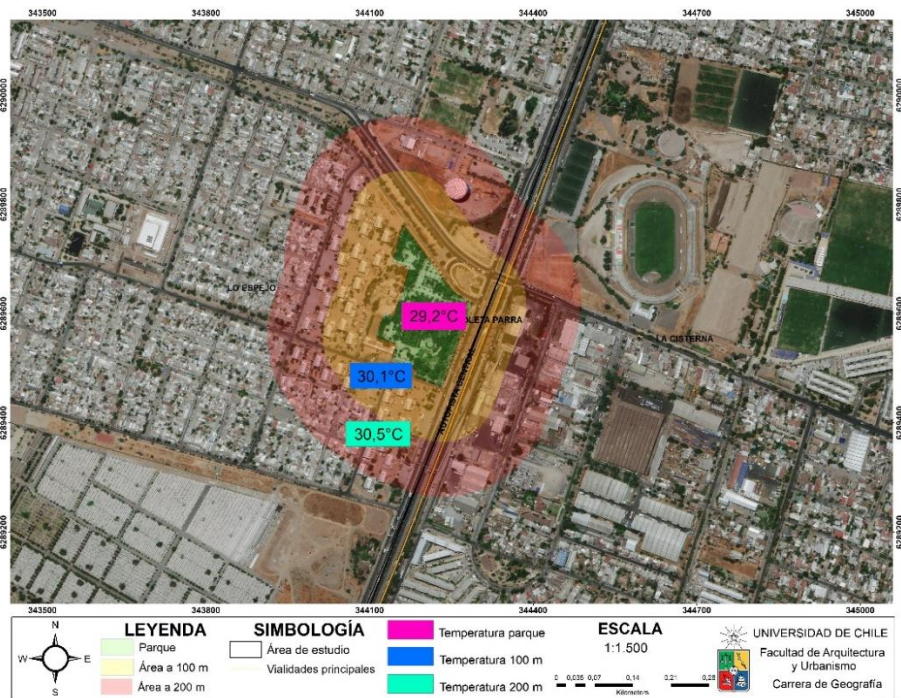
Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

Anexo 7: Parque El Llano



Fuente: Elaboración propia

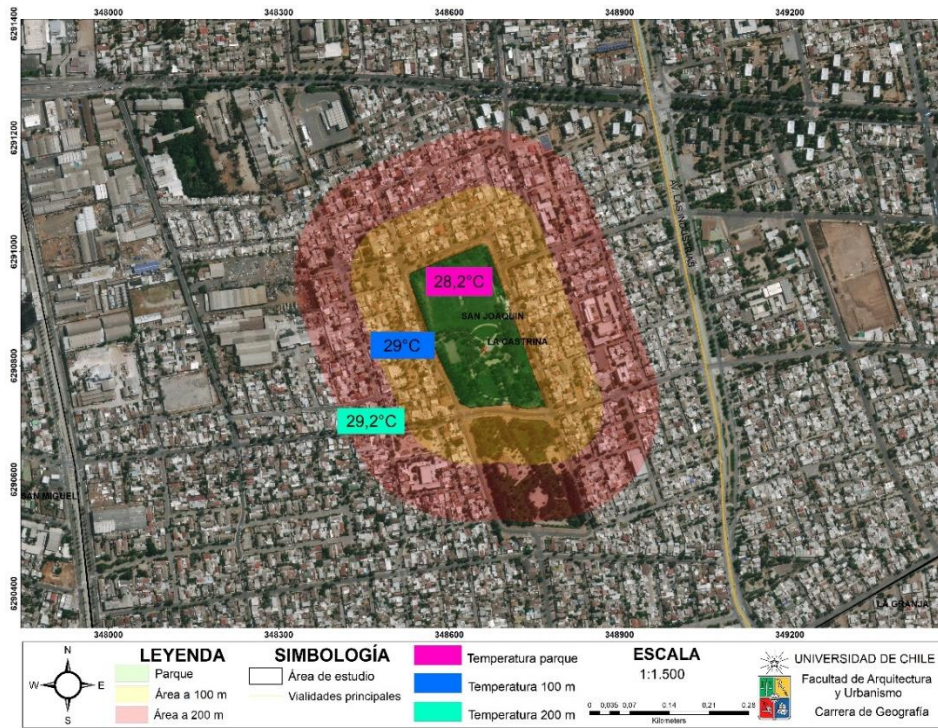
Anexo 8: Parque Violeta Parra



Fuente: Elaboración propia

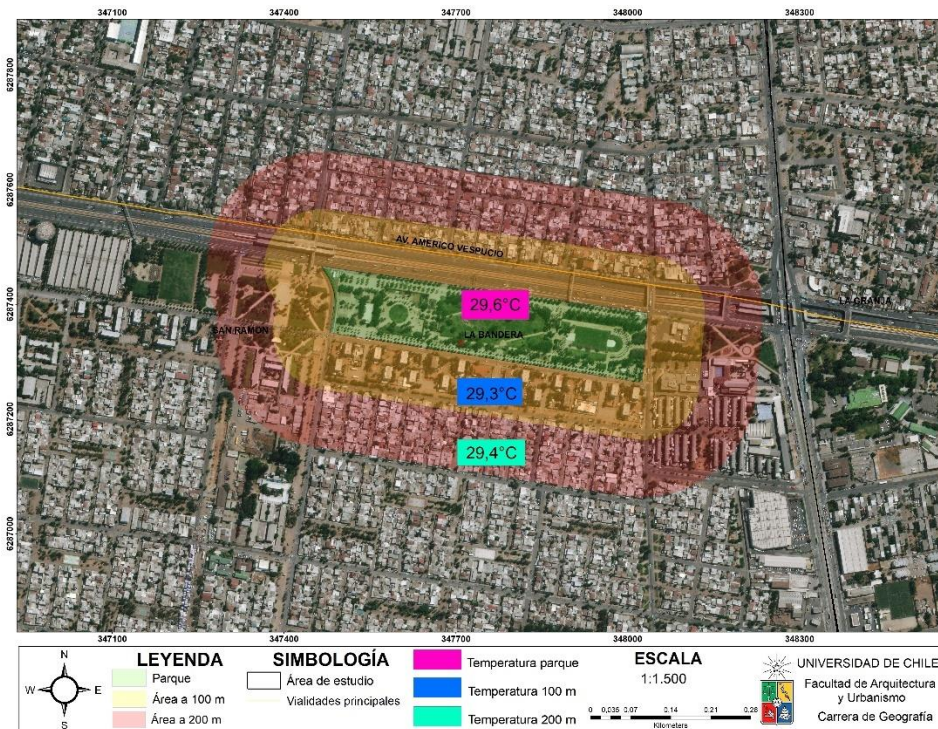
Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

Anexo 9: Parque La Castrina



Fuente: Elaboración propia

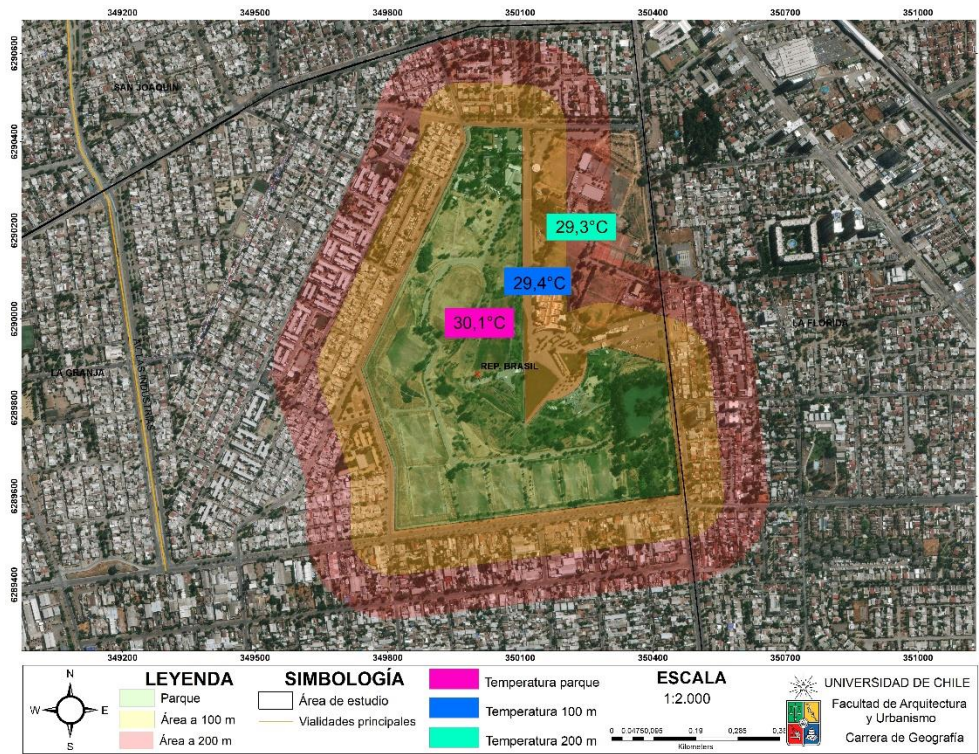
Anexo 10: Parque La Bandera



Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 11: Parque República de Brasil



Fuente: Elaboración propia