



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Cerros Isla en el Gran Santiago, enclaves estratégicos para
la reducción de la temperatura superficial terrestre.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Arquitectura Avanzada, Paisaje,
Urbanismo y Diseño

AUTOR/A: Mihovilovic Croxatto, Francisca

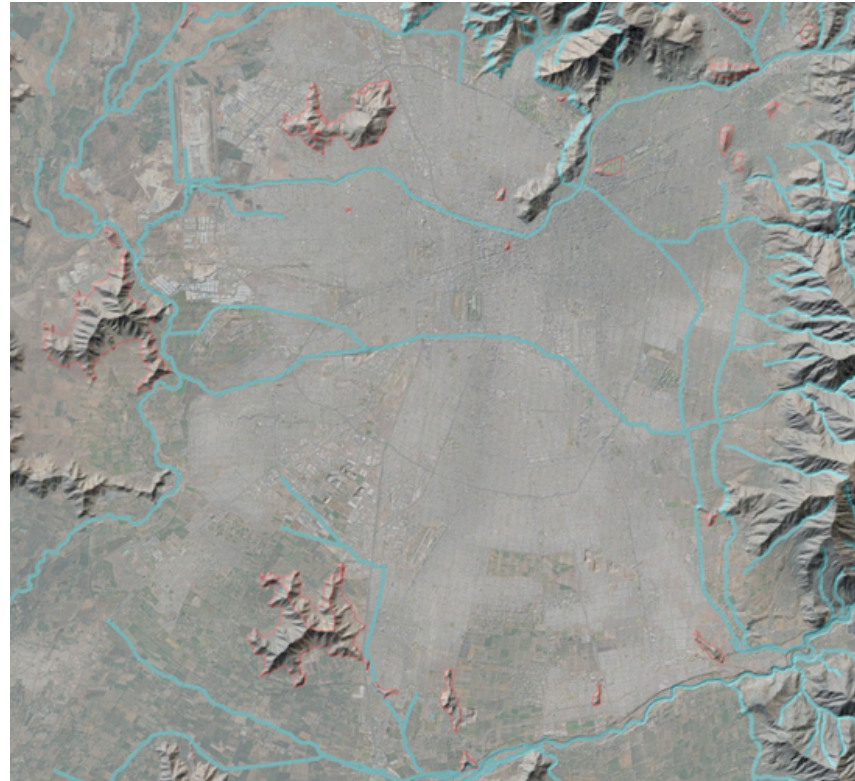
Tutor/a: Temes Cordovez, Rafael Ramón

Cotutor/a: Gielen, Eric Madeleine Pierre

CURSO ACADÉMICO: 2024/2025

CERROS ISLA EN EL GRAN SANTIAGO

Enclaves estratégicos para la reducción de la temperatura superficial terrestre



Tesis para acceder al grado académico de máster en Arquitectura Avanzada, Urbanismo, Territorio y Paisaje
Autora: Francisca Mihovilovic Croxatto

Comité de tesis:

Tutor: Rafael Temes Córdovez

Cotutor: Eric Gielen

Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Abril, 2025

Agradecimientos

Agradezco de corazón a todas las personas que han sido parte fundamental en este camino de investigación y realización de mis sueños.

En primer lugar a Tomás, por apoyarme siempre para concretar mis sueños, su compañía ha sido fundamental. A mi perro Bowie, mi fiel compañero de tantas caminatas en medio de la naturaleza, donde reflexionamos aspectos importantes de esta tesis.

Quiero expresar una profunda gratitud a mis tutores, Rafael Temes-Cordovez y Eric Gielen, quienes han creído en mi investigación desde sus inicios. Su disposición para el diálogo, la discusión y el enfoque en los objetivos no solo enriqueció mi trabajo, sino que también fortaleció mi convicción de seguir adelante en los momentos más difíciles. A mis profesores y compañeros de master, ha sido una enriquecedora experiencia el poder compartir con colegas de diferentes partes del mundo (España, China, Perú, Alemania, Ucrania, Rep. Dominicana, Rusia, México, Argentina, Ecuador, Brasil, Colombia), en especial agradecer a mi compañera Nady, con quien fue un agrado poder trabajar, su entusiasmo y amor por lo que hace se reflejó en cada una de las entregas.

A mi familia, por su amor incondicional y su respaldo constante y por haberme brindado siempre un refugio de comprensión y aliento. De manera especial, quiero agradecer a mi hermana Javiera, cuyo apoyo y cercanía han sido invaluable a lo largo de este proceso y a mi familia Valenciana, con quienes tuve la fortuna de contar estando tan lejos de casa. Finalmente, extendiendo un sincero agradecimiento a todos mis amigos vitamina, quienes me brindaron su apoyo y energía positiva desde el inicio de esta aventura hasta el final, animándome a perseguir y realizar mis sueños con entusiasmo y determinación.

A todos ustedes, mi gratitud eterna.

Resumen

La creciente vulnerabilidad de las ciudades frente a fenómenos climáticos extremos, como el aumento de olas de calor, ha impulsado la necesidad de desarrollar estrategias urbanas que promuevan la resiliencia climática, ya que se estima que al 2050 cerca del 70% de la población mundial viva en ciudades. En este contexto se vuelve imprescindible pensar en medidas de resiliencia que permitan a las ciudades adaptarse a los efectos del cambio climático, como la planificación urbana integral del territorio, donde se consideren y protejan adecuadamente todas aquellas infraestructuras ecológicas que contribuyan a prestar servicios ecosistémicos, a razón de poder garantizar un desarrollo sostenible.

La ciudad de Santiago ha presentado un crecimiento expansivo durante los últimos treinta años, presentando un incremento de su mancha urbana, cuya superficie ha utilizado áreas agrícolas y naturales, ello ha perjudicado los índices de calidad de vida urbana, ya que la ciudad presenta índices de 3,7 m² por habitante, muy por debajo de lo recomendado por estándares internacionales. El déficit de áreas verdes, se encuentra directamente relacionado con las alzas de temperatura que ha sufrido la ciudad en los últimos años y que se asocia al fenómeno de islas de calor urbana (ICU), el cual es particularmente preocupante producto de una alarmante vulnerabilidad socio espacial, que se debe a la inequidad territorial, siendo las comunas de más recursos aquellas que concentran mayores porcentajes de área verde por habitante en contraste con comunas más humildes. El año 2024, Santiago vivió máximas de temperatura que llegaron a los 38° y se cree que estos fenómenos irán en aumento si no se toman medidas que contribuyan a mejorar el microclima urbano.

Palabras clave:

Cerros isla, microclima urbano, vulnerabilidad socio espacial, isla de calor, temperatura superficial terrestre, servicios ecosistémicos, soluciones basadas en la naturaleza, infraestructura verde.

En este contexto, los “Cerros isla”, remanentes naturales insertos de forma homogénea por el valle de Santiago, se han considerado como una oportunidad de disminuir la inequidad de áreas verdes dentro de la ciudad y contribuir a la resiliencia territorial, siendo visibilizados a través de fundaciones y organizaciones sociales que han relevado la importancia de estos enclaves dentro de la planificación urbana para buscar una mayor y mejor protección de los mismos.

Los hallazgos de esta tesis, se enfocan en identificar diferentes variables que influyen en el efecto de enfriamiento de los Cerros Isla y en su capacidad de contribuir a mejorar el microclima urbano, con el objetivo de identificar su potencial protagonismo en la resiliencia climática y así promover mayores esfuerzos tanto en el cuidado de estos enclaves como en el desarrollo de una planificación urbana estratégica que los considere en sus lineamientos.

Glosario:

Cambio climático: Cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera del planeta y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante períodos de tiempo comparables.

Ola de calor: Según lo expresado por la dirección meteorológica de Chile, se definen cuando la temperatura máxima supera la climatología histórica durante tres o más días consecutivos.

Resiliencia: La definición utilizada por la oficina para la reducción de riesgos de desastres de las Naciones Unidas, la define como la capacidad que tiene un sistema, una comunidad o una sociedad, expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficiente, en particular mediante la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas por conducto de la gestión de riesgos.

Adaptación climática: Acción, medida o proceso de ajuste al clima actual o proyectado o a sus efectos en sistemas humanos o naturales, con el fin de moderar o evitar los daños, reducir la vulnerabilidad, aumentar la resiliencia o aprovechar las oportunidades beneficiosas.

Cerros isla: Corresponden a formaciones propias de la topografía de regiones montañosas, insertos en una matriz diferente, ya sea urbana o agrícola donde se asientan ciudades o cultivos, lo cual incrementa su condición de isla biogeográfica.

NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index*, es un indicador utilizado en teledetección, para evaluar la cantidad, calidad y estado de la vegetación en una determinada área a partir de imágenes satelitales o drones. Sus valores varían desde -1 a 1, siendo valores cercanos a 1 correspondientes a vegetación densa y saludable y valores cercanos a 0 correspondientes a suelos desnudos y zonas áridas.

Soluciones basadas en la naturaleza (SbN): Son estrategias que utilizan procesos naturales, ecosistemas y su biodiversidad para abordar desafíos ambientales, sociales y económicos, promoviendo la sostenibilidad y la resiliencia climática. Estas soluciones imitan o potencian los procesos ecológicos para generar beneficios tanto para las personas como para la naturaleza.

Refugios climáticos: Aquellas áreas geográficas que, por sus particulares características geoclimáticas, hidrológicas, oceanográficas y/o una condición poco alterada de sus ecosistemas, podrían tener capacidad de amortiguar los efectos negativos del cambio climático, permitiendo la viabilidad de sus ecosistemas y especies, o de mantener o recuperar el rol de sumidero de carbono y regulador del clima.

Plan regulador Comunal: Es el instrumento de planificación territorial que regula y ordena el uso del suelo dentro de una comuna en Chile. Su objetivo es definir cómo y dónde se puede construir, qué actividades están permitidas y cómo se desarrollará el territorio en el futuro, garantizando un crecimiento equilibrado y sustentable.

Plan regulador metropolitano de Santiago: Es el instrumento de planificación territorial que regula el uso del suelo y el crecimiento urbano en la Región Metropolitana de Santiago, Chile. Su objetivo es ordenar y planificar el desarrollo de la ciudad, asegurando un equilibrio entre crecimiento urbano, áreas protegidas, infraestructura y sustentabilidad.

Justicia climática: Es un enfoque que reconoce que el cambio climático no afecta a todas las personas por igual y busca soluciones que protejan a las comunidades más vulnerables. Se basa en la idea de que la crisis climática no es solo un problema ambiental, sino también un problema social y ético, siendo aquellos que menos contribuyen al problema aquellos que más afectados se ven.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	12
2. LIMITACIONES DEL ESTUDIO	17
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
4. HIPOTESIS Y OBJETIVOS	20
4.1 Objetivo general	20
4.2 Objetivos específicos	20
5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	20
6. MARCO TEÓRICO	21
6.1 Urbanización sostenible	21
6.1.1 Planificación urbana ecológica	21
6.1.2 Infraestructura verde	23
6.2 Cerros isla	24
6.3 Servicios ecosistémicos	25
6.3.1 Forestación urbana	26
6.4 Temperatura superficial de la tierra (LST)	26
6.4.1 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	26
6.5 Microclima urbano y la justicia climática	27
6.5.1 Isla de calor urbano	28
6.5.2 Efecto de enfriamiento	28
7 ENFOQUE METODOLÓGICO	30
7.1 Diseño metodológico	31
8 METODOLOGÍA	32
8.1 Caso de estudio general	32
8.1.1 Los cerros isla dentro de la ordenación territorial	36
8.2 Casos pormenorizados	39
8.2.1 Caso 1: Cerro Hasbún/ Santa Lucía	39
8.2.2 Caso 2 : Cerro San Cristóbal/ Renca	41
8.3 Obtención de temperatura	43
8.3.1 Temperatura superficial de la tierra (LST)	43
8.3.2 Selección de la imagen	44
8.3.3 Temperatura superficial de la tierra en cada CI	45
8.4 Morfología urbana	46
8.4.1 Obtención de índice de ocupación de suelo	47
8.5 Características físicas de los cerros	48
9. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	49

9.1 Temperatura media de cada cerro isla (CI)	50
9.2 Identificación de enclaves con mayor potencialidad de impacto en la reducción de LST	51
9.2.1 Normalización de variables	52
9.2.1.1 Superficie	52
9.2.1.2 Cobertura vegetal	52
9.2.1.3 NDVI	52
9.2.1.4 Morfología urbana	53
9.2.1.5 Nivel socioeconómico.....	53
9.2.1.6 Resultados	54
9.3 Casos de estudio pormenorizados	56
9.4 Indicadores del efecto de enfriamiento.....	57
9.4.1 Anillos concéntricos	57
9.4.2 Transectos.....	57
9.5 Recopilación de datos, caso 1: Cerros Santa Lucía / Hasbún	58
9.6 Recopilación de datos, caso 2: Cerro San Cristóbal / Renca	59
9.7 Relación de variables caso 1, anillos concéntricos.....	66
9.7.1 Cerro Hasbún / Santa Lucía, LST media por anillos.....	66
9.7.2 Cerro Hasbún / Santa Lucía, NDVI media por anillos	66
9.7.3 Cerro Hasbún / Santa Lucía, relación LST e índice de ocupación de suelo (IOS).....	67
9.7.4 Relación de variables caso 1: Transectos.....	69
9.8 Relación de variables caso 2, anillos concéntricos.....	70
9.8.1 Cerro San Cristóbal / Renca, LST media por anillos.....	73
9.8.2 Cerro San Cristóbal / Renca, NDVI media por anillos.....	73
9.8.3 Cerro San Cristóbal / Renca, relación LST e índice de ocupación de suelo (IOS)	74
9.8.4 Relación de variables caso 2, transectos	76
9.9 Conclusiones de variables.....	79
10 RECOMENDACIONES DE PLANIFICACIÓN URBANA PARA POTENCIAR EL EFECTO DE ENFRIAMIENTO	
CASO DE CERRILLOS DE LO CASTRO, QUILICURA.....	81
10.1 Escalas de actuación y objetivos.....	81
10.2 Marco regulatorio, planteamientos del nuevo PRC.....	82
10.3 Identificación de variables en el área de propuesta.....	86
11. Directrices de diseño según escala.....	87
11.1 Intra cerro.....	87
11.2 Ecotono cerro- ciudad.....	88
11.3 Buffer urbano y conectividad.....	89
11.4 Red Metropolitana	91
12. Conclusiones.....	92
13. Bibliografía.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Espiral de la mortalidad del árbol
Figura 02. Expectativa de vida útil de los árboles
Figura 03. Estructura espacial IV Santiago
Figura 04. Nodos de conexión IV Santiago
Figura 05. Sectorización área Metropolitana
Figura 06. Plan IV Santiago
Figura 07. Evolución histórica de la ciudad en torno a sus CI
Figura 08. Cobertura de vegetación respecto del continuo de edificaciones urbanas
Figura 09. Distribución socioeconómica de la ciudad de Santiago de Chile
Figura 10. IV de Valencia
Figura 11. Anillo de amortiguación
Figura 12. Conexión huerta-centro
Figura 13. Conexión huerta norte-sur
Figura 14. Modelo de sombras CI en la ciudad de Santiago
Figura 15. Áreas verdes y CI en la ciudad de Santiago
Figura 16. LST Santiago en Estación Central y Vitacura
Figura 17. Comparación de uso y cobertura de suelo entre comunas
Figura 18. Sectores de Santiago
Figura 19. Relación NDVI LST
Figura 20. Representación conceptual de enfriamiento
Figura 21. Relación tipos de parque LST
Figura 22. Hidrografía de Santiago
Figura 23. Relación CI y Cordillera de los Andes
Figura 24. CI dentro del Gran Santiago
Figura 25. Cerro parque Santa Lucía y mancha urbana
Figura 26. CI como área verde y mancha urbana 1936
Figura 27. Plan regulador 1960
Figura 28. Normativa CI de Santiago, PRMS 1994
Figura 29. Normativa CI de Santiago, PRMS 1994
Figura 30. Límite urbano PRMS
Figura 31. Comunas que componen el gran Santiago
Figura 32. Distribución socioeconómica por comunas
Figura 33. Mapa de unidades vecinales de Santiago y sus temperaturas medias
Figura 34. Cobertura de vegetación respecto del continuo de construcciones urbanas
Figura 35. Cerro Hasbún dentro de la normativa
Figura 36. Relaciones ecológicas entre CI de San Bernardo
Figura 37. Cerro Santa Lucía dentro de la normativa
Figura 38. Cerro Santa Lucía en su contexto urbano
Figura 39. Cerro San Cristóbal dentro de la normativa
Figura 40. Cerro San Cristóbal y sus vínculos ecológicos
Figura 41. Cerro Renca dentro de la normativa
Figura 42. Cerro Renca y sus vínculos ecológicos

Figura 43. LST de Santiago de Chile
Figura 44. LST CI
Figura 45. Morfología urbana en Santiago
Figura 46. Referencias de morfología urbana en Santiago
Figura 47. Cerro Renca tipología mixta informal
Figura 48. Cerro Del Medio, tipología formal
Figura 49. Relación LST- Coberturas
Figura 50. Edificaciones por anillo, Cerro Hasbún
Figura 51. NDVI Ciudad de Santiago
Figura 52. LST media CI en la ciudad de Santiago
Figura 53. LST media en CI
Figura 54. Enclaves con mayor potencial de impacto positivo
Figura 55. Potencial de impacto positivo en los CI de Santiago
Figura 56. CI seleccionados para casos de estudio
Figura 57. Transecto de LST
Figura 58. Anillos buffer LST Cerro Santa Lucía
Figura 59. Anillos buffer NDVI Cerro Santa Lucía
Figura 60. Anillos buffer IOS Cerro Santa Lucía
Figura 61. Anillos buffer LST Cerro Hasbún
Figura 62. Anillos buffer NDVI Cerro Hasbún
Figura 63. Anillos buffer IOS Cerro Hasbún
Figura 64. Anillos buffer LST Cerro San Cristóbal
Figura 65. Anillos buffer NDVI Cerro San Cristóbal
Figura 66. Anillos buffer IOS Cerro San Cristóbal
Figura 67. Anillos buffer LST Cerro Renca
Figura 68. Anillos buffer NDVI Cerro Renca
Figura 69. Anillos buffer IOS Cerro Renca
Figura 70. LST cerros Hasbún- Santa Lucía
Figura 71. NDVI cerros Hasbún- Santa Lucía
Figura 72. LST cerros Hasbún-Santa Lucía
Figura 73. IOS cerros Hasbún- Santa Lucía
Figura 74. Transecto A-A” cerro Santa Lucía
Figura 75. Transecto norte cerro Santa Lucía
Figura 76. Transecto sur cerro Sant Lucía
Figura 77. Transecto B-B” cerro Hasbún
Figura 78. Mapa de sombras cerro Hasbún
Figura 79. Influencia de sombras, cerro Hasbún
Figura 80. Mapa de sombras, Cerro Santa Lucía
Figura 81. LST modelo de sombras Cerro Santa Lucía
Figura 82. LST cerros San Cristóbal- Renca
Figura 83. NDVI cerros San Cristóbal- Renca
Figura 84. LST cerros San Cristóbal-Renca
Figura 85. IOS cerros San Cristóbal- Renca

Figura 86. Transecto A-A” cerro Renca
Figura 87. Sector norte transecto cerro Renca
Figura 88. Sector sur transecto cerro Renca
Figura 89. Mapa de sombras transecto A-A”
Figura 90. Transecto A-A” cerro San Cristóbal
Figura 91. Influencia cerro San Cristóbal
Figura 92. Mapa de sombras cerro San Cristóbal
Figura 93. Comuna de Quilicura
Figura 94. Actualización plan regulador de Quilicura
Figura 95. Imagen objetivo PRC de Quilicura
Figura 96. Infraestructura verde de Quilicura
Figura 97. Red hidrográfica de Quilicura
Figura 98. Peligrosidad de inundación
Figura 99. Lineamientos de desarrollo urbano
Figura 100. Usos preferentes y superficies
Figura 101. Zona de propuesta y LST actual
Figura 102. NDVI zona de propuesta
Figura 103. Usos de suelo actuales
Figura 104. Escala intra cerro, situación actual
Figura 105. Sendero tipo
Figura 106. Sendero tipo
Figura 107. Ecotono Cerrillos de Lo Castro
Figura 108. Vista aérea ecotono
Figura 109. Conectividad y cargas
Figura 110. Borde humedal
Figura 111. Buffer urbano
Figura 112. Red Metropolitana

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 01:** Pilares principales de “*Strategies of cooling Singapore*”
Tabla 02: Pilares principales de “*Urban forest city*”
Tabla 03: Visión y objetivos plan Santiago +
Tabla 04: Tipologías de área verde en Santiago de Chile
Tabla 05: Principios y criterios de planificación ecológica para Santiago
Tabla 06: Objetivos plan verde de la biodiversidad de Valencia
Tabla 07: Clasificación de los servicios ecosistémicos
Tabla 08: Síntesis de resultados de SE cerro Chena
Tabla 09: SE CI
Tabla 10: Rangos de NDVI
Tabla 11: Diseño metodológico
Tabla 12: CI del Gran Santiago y superficies
Tabla 13: Tipologías de área verde en el PRIS 1960
Tabla 14: Tipologías de reserva en el PRIS 1960
Tabla 15: Normativa sobre los CI, PRMS- PRC
Tabla 16: Estratos socioeconómicos
Tabla 17: Tipologías de morfología urbana
Tabla 18: Variables a normalizar por cada CI
Tabla 19: Ponderación de variables
Tabla 20: Rango de superficie por cerros analizados
Tabla 21: Rango de cobertura vegetal por cerros analizados
Tabla 22: Rango de NDVI por cerros analizados
Tabla 23: Rango de morfología urbana por cerros analizados
Tabla 24: Rango de nivel socioeconómico por cerros analizados
Tabla 25: Resultado de variables normalizadas
Tabla 26: Casos de estudio pormenorizado y variables a considerar
Tabla 27: LST media anillos concéntricos Santa Lucía
Tabla 28: NDVI media anillos concéntricos Santa Lucía
Tabla 29: LST media anillos concéntricos Hasbún
Tabla 30: NDVI media anillos concéntricos Hasbún
Tabla 31: LST media anillos concéntricos San Cristóbal
Tabla 32: NDVI media anillos concéntricos San Cristóbal
Tabla 33: LST media anillos concéntricos Renca
Tabla 34: NDVI media anillos concéntricos Renca
Tabla 35: IOS media anillos concéntricos San Cristóbal
Tabla 36: LST media anillos concéntricos Renca.
Tabla 37: NDVI media anillos concéntricos Renca
Tabla 38: IOS media anillos concéntricos Cerro Renca
Tabla 39: Escalas de actuación y objetivos
Tabla 40: Etapas de restauración ecológica
Tabla 41: Recomendación de especies a utilizar

ÍNDICE DE IMÁGENES

- Imagen 01.** Vista aérea de la ciudad de Santiago
Imagen 02. Cerro Santa Lucía
Imagen 03. Cerro Renca, tipología informal
Imagen 04. Cerro del Medio, tipología formal
Imagen 05. Morfología urbana poniente y oriente
Imagen 06. Cerro Renca
Imagen 07. Cerro San Cristóbal
Imagen 08. Cerro Santa Lucía
Imagen 09. Cerro Hasbún

ÍNDICE DE GRÁFICOS

- Gráfico 01.** Comportamiento LST cerros Hasbún-Santa Lucía
Gráfico 02. Comportamiento NDVI cerros Hasbún-Santa Lucía
Gráfico 03. Comportamiento LST cerros Hasbún-Santa Lucía
Gráfico 04. IOS media en cerros Hasbún-Santa Lucía
Gráfico 05. Relación variables Cerro Santa Lucía
Gráfico 06. Relación variables Cerro Hasbún
Gráfico 07. LST transecto A-A” Cerro Santa Lucía
Gráfico 08. NDVI transecto A-A” Cerro Santa Lucía
Gráfico 09. Alturas transecto A-A” Cerro Santa Lucía
Gráfico 10. LST transecto B-B” Cerro Hasbún
Gráfico 11. NDVI transecto B-B” Cerro Hasbún
Gráfico 12. Comportamiento LST Cerros San Cristóbal- Renca
Gráfico 13. Comportamiento NDVI Cerros San Cristóbal-Renca
Gráfico 14. Comportamiento LST Cerros San Cristóbal- Renca
Gráfico 15. IOS media en Cerros San Cristóbal-Renca
Gráfico 16. Relación variables cerro San Cristóbal
Gráfico 17. Relación variables cerro Renca
Gráfico 18. LST Transecto A-A, Cerro Renca
Gráfico 19. NDVI Transecto A-A, Cerro Renca
Gráfico 20. Alturas Transecto A-A, Cerro Renca
Gráfico 21. LST Transecto A-A, Cerro San Cristóbal
Gráfico 22. NDVI Transecto A-A, Cerro Renca
Gráfico 23. Alturas Transecto A-A”, Cerro San Cristóbal

Acrónimos:

LST: *Land surface temperature* (Tempertura superficial de la tierra)

ICU: Isla de calor urbana

CI: Cerro isla

IV: Infraestructura verde

SE: Servicios ecosistémicos

ZCL: Zonas climáticas locales

GORE: Gobierno regional

ARE: Área de rehabilitación ecológica

Tp: Temperatura de parque

Tu: Temperatura urbana

Lmax: Límite de extensión de enfriamiento

PCI: *Park cooling island*

EVU: Espacios verdes urbanos

PRMS: Plan Regulador Metropolitano de Santiago

PRC: Plan regulador comunal

MINVU: Ministerio de vivienda y urbanismo

PVBV: Plan del verde y la biodiversidad de Valencia

PNUD: Programa de las naciones unidas para el desarrollo



Imagen 01: Vista aérea de la ciudad de Santiago, fuente: Guy Wenborne, *Cerros isla de Santiago*

1. Introducción

El calentamiento global es uno de los desafíos más apremiantes que enfrenta la humanidad en el siglo XXI. El incremento de las temperaturas promedio a nivel mundial ha desencadenado una serie de efectos adversos en los ecosistemas, la salud humana y las actividades socioeconómicas, según lo indicado por el *Intergovernmental Panel on Climate Change*¹ (IPCC, 2018).

La conferencia de Glasgow de Naciones Unidas del año 2021 ha anunciado que el calentamiento del planeta ya alcanza 1,1 grados y prevé que al año 2032 se podría alcanzar el horizonte máximo de 1,5 grados establecido en el acuerdo de París. De no tomarse medidas, la misma conferencia establece que se alcanzaría el horizonte crítico de los 2 grados al año 2050. Dentro de este contexto global, las ciudades se han convertido en foco de atención, al presentar fenómenos climáticos relevantes como el de la isla de calor urbano (ICU), el cual se caracteriza por presentar temperaturas más altas en las zonas urbanas en comparación con las áreas rurales circundantes, ello como resultado de la urbanización intensiva, la reducción de áreas verdes y el aumento de superficies impermeables y absorbentes de calor (Landsberg, 1981). Dentro de las principales preocupaciones, se encuentra el impacto en la salud pública. En Chile, durante las olas de calor del año 2017, se estimaron 584 muertes adicionales en población de mayores de 65 años, asociadas a su menor capacidad de termorregulación y preexistencias (Palmeiro Silva et al., 2024), lo cual evidencia la vulnerabilidad de poblaciones sensibles ante este fenómeno. Combatir el calentamiento de las ciudades se vuelve, por lo tanto, una labor imperante, puesto que se prevé que la mayor parte de la población mundial habite en urbes hacia el año 2050 (ONU, 2019). Para dar respuesta a esta problemática, algunas ciudades ya han trazado estrategias de planificación urbana que van en la línea de reducir la temperatura y mejorar el clima urbano de las ciudades a través de soluciones basadas en la naturaleza (SbN). Se ha demostrado que las áreas verdes como parques, jardines y árboles urbanos asociados a cuerpos de agua pueden reducir significativamente las temperaturas locales mediante procesos de sombra y evapotranspiración (Gill et al., 2007).

La infraestructura verde ha sido entonces considerada e incorporada como una solución para enfrentar el fenómeno del calentamiento urbano. La Comisión Europea (2013) la reconoce como una herramienta determinante para aumentar la resiliencia frente al cambio climático debido a los beneficios que esta infraestructura proporciona, entre ellos la mitigación del efecto de la isla de calor en entornos urbanos.

Dentro de algunas iniciativas destacadas en la resiliencia (ONU, 2009), como un concepto vinculado al tipo de desarrollo, surgen iniciativas relacionadas con *resiliencia climática*, entendiéndola como la capacidad de adaptación al cambio climático, considerando enfoques basados en la naturaleza para integrar los ecosistemas como soluciones en la adaptación del cambio climático (Paz, 2023). La alianza global “*Cities4forest*” liderada por el Instituto de Recursos Mundiales, la cual se encarga de apoyar a ciudades de todo el mundo para la utilización de la naturaleza en la resiliencia urbana. “*C40 Cities*”, red global de casi cien alcaldes de las principales ciudades del mundo, comprometidos a utilizar un enfoque inclusivo para limitar el calentamiento global a 1,5 grados, para construir comunidades saludables, equitativas y resilientes a través del movimiento “*nuevo pacto verde global*”. El programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente (PNUMA) declara en su objetivo 13 “*Acción por el clima*” fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los peligros relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países. Se pueden destacar algunas iniciativas internacionales para mejorar las condiciones de confort térmico, como las de Singapur, Melbourne o Santiago de Chile. En el caso de Singapur, el documento “*Strategies for cooling Singapore*” plantea el concepto de “*isla fría*”, reconociendo la capacidad que poseen la vegetación y la geometría urbana en la reducción de la temperatura local (Tabla 01) y la necesidad de planificación en relación a la expansión urbana (Ruefenacht & Acero, 2017).

¹ Panel intergubernamental sobre el cambio climático

VEGETACIÓN incorporación de vegetación en el diseño urbano		
PLANTACIÓN DE VEGETACIÓN	PARQUES Y ESPACIOS ABIERTOS	CORREDORES VERDES
Techos verdes, fachadas verdes, vegetación al rededor de edificios, plantación selectiva, pavimentos verdes, infraestructuras verdes, Reducción de temperatura superficial por evapotranspiración, absorción de radiación solar.	Revegetación a macro escala, aumento de parques urbanos, reservas naturales, bosques, parques medianos, parques de bolsillo, patios verdes, estacionamientos verdes, selección de especies adecuadas, granjas urbanas Consolidar “islas frías”	Disposición de la vegetación en los corredores de transporte

GEOMETRÍA URBANA Condicionante del rendimiento térmico del área urbana		
GEOMETRÍA DE LOS CAÑONES URBANOS	CORREDORES DE VIENTO	COBERTURA SUPERFICIAL
Factor de visión de cielo, relación entre altura y ancho de cañón urbano	Altura de edificaciones en relación al arbolado, forma y disposición de los edificios, diferencias de altura, ensanche de calles, espacios abiertos hacia la costa, porosidad de edificios, Incrementar la velocidad del viento Evitar la obstrucción del viento	Densidad urbana y fracción superficial de la edificación, reducirlas produciría espacios urbanos más abiertos y ventilados, incrementar cobertura verde en el diseño arquitectónico.

ENERGÍA		
CONSUMO DE ENERGÍA	SISTEMAS DE EDIFICACIÓN	SISTEMAS DE ESPACIOS EXTERIORES
Pérdida de calor en los edificios, eficiencia energética en electrodomésticos, aire acondicionado, industria, optimización de la temperatura interior del edificio,	Uso de energías renovables Barrios de uso mixto, donde los usos comerciales utilizan mayor energía por el día y residenciales por la noche.	Establecimiento de zonas de transición entre interior y exterior, sistemas de ventilación híbrida para espacios exteriores

CUERPOS DE AGUA Y SUPERFICIES Condicionados por el clima local	
ELEMENTOS	CUERPOS
Incorporación de estanques, enfriamiento evaporativo como nebulizadores, fuentes con pulverización de agua activa.	Masas de agua que absorben radiación solar y generan humedad, combinación de estrategias de mitigación verde y azul para mejor rendimiento como preservación de humedales, áreas de captación de agua,

MATERIALES Y SUPERFICIES Considerar las propiedades térmicas de los materiales urbanos	
CALLES Y ESPACIOS ABIERTOS	EDIFICIOS
Uso de pavimentos frescos que presentan mayor albedo y menor acumulación de calor, uso de pavimentos retentivos de agua y porosos.	Techos frescos, con mayor reflectancia de radiación solar, fachadas frescas, uso de envolventes de alto rendimiento.

SOMBREAMIENTO Reducción de la temperatura del aire y de las superficies	
GEOMETRÍA DE EDIFICIOS	DISEÑO DE REFUGIOS
Orientación de los edificios, para mejorar su rendimiento.	Dispositivos de sombreado permanente y móvil .

TRANSPORTE		
REDUCCIÓN DE TRÁFICO	CONSUMO DE COMBUSTIBLES	REDUCCIÓN DEL FLUJO DE CALOR
Reducción en el uso de vehículos por medio de desincentivos a la compra y uso del vehiculo privado e incentivos al uso de transporte público o uso de sistemas centralizados de ruteo. Mayor incentivo a la movilidad activa.	Vehículos privados eléctricos Transporte público eléctrico,	Materiales de carretera de alta reflectancia, sistema de transporte electrificado, elección de pintura y color de vehículos.

Tabla 01: Pilares principales de “*Strategies of cooling Singapore*” elaboración propia.

El documento *Urban Forest Strategy: Making a Great City Greener 2012-2032*, desarrollado por la ciudad de Melbourne, expone una estrategia integral para incrementar y mantener la vegetación urbana con el objetivo de mejorar la calidad de vida y sostenibilidad de la ciudad, guiando la transición del paisaje a la resiliencia, la salud y el bienestar de la comunidad a través del reconocimiento del bosque urbano y sus beneficios ambientales (Tabla 02), centrando sus acciones en el aumento del dosel arbóreo y la diversificación del bosque urbano.

Bosque urbano		
Beneficios ambientales Proporcionan sombra y refrescan las ciudades Reducción de flujos de agua pluvial Reducción en la contaminación del aire Proporción de refugios para la biodiversidad.	Beneficios comunitarios Creación de identidad local Mejora de cohesión comunitaria Reconexión con la naturaleza Fomento de actividad al aire libre Reducción de exposición al sol Disminución de enfermedades relacionadas al calor. Mejora del bienestar mental	Beneficios económicos Reducción en costos de energía Plusvalía en propiedades Reducción en costos de salud Promoción de la ciudad

Tabla 02: Pilares principales de “Urban Forest city” elaboración propia.

El documento plantea que la salud del bosque urbano se encuentra directamente relacionada con la diversidad del mismo y su estado de conservación, ello evaluado a través de la ULE (*Useful life expectancy*), un detallado levantamiento del arbolado urbano para detallar aspectos como su salud, tamaño, edad, ubicación y especie. El presente catastro ayuda a identificar que los árboles sean protegidos y gestionados de forma adecuada para evitar riesgos en la población asociados a un mal estado de conservación (figuras 01, 02).

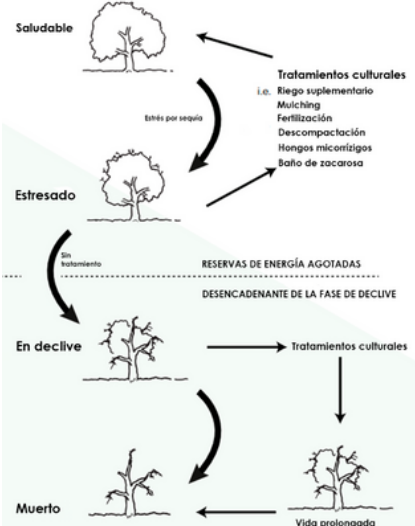


Figura 01: Espiral de la mortalidad del árbol, Fuente: Urban forest strategy Melbourne.



Figura 02: Expectativa de vida útil de los árboles, fuente: *Urban forest strategy Melbourne*.

En Chile, en el año 2018, se plantea el *Plan de infraestructura verde Santiago*, más conocido como Santiago + (figura 06), el cual busca integrar y expandir áreas verdes en la ciudad, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de sus habitantes, atendiendo a problemas como la segregación social, contaminación y cambio climático. El plan propone un sistema interconectado de áreas verdes multifuncionales, las cuales permitan mitigar los principales problemas sociales y ambientales. Dentro de sus principales objetivos, se encuentra el de contribuir a la integración social y espacial de la ciudad y aportar en la adaptación de la ciudad ante los efectos del cambio climático. En su estructuración, se reconocen como componentes del contexto natural los cordones montañosos, Cerros Isla y elementos hidrográficos. Como componentes de índole urbano, se reconocen tres anillos conectores y un eje conector norte-sur (figura 03). El plan identifica como principales nodos conectores a los Cerros Isla y grandes parques urbanos (figura 04). A mesoescala, se identifican 11 áreas de trabajo para sectorizar el Área Metropolitana de Santiago de acuerdo a características espaciales y demográficas (figura 05).

Visión					
Aportar a que Santiago sea una ciudad más Eficiente, Integrada, Equitativa, Resiliente y Saludable, optimizando sus espacios verdes urbanos y periurbanos mediante la planificación y gestión de la diversidad					
Lineamientos estratégicos					
Contribuir a la integración social y espacial de la ciudad de Santiago.			Aportar en la adaptación de la ciudad a los efectos del cambio climático.		
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	Conectar espacios verdes y desarrollar sistemas de movilidad sustentable asociados.	Distribuir equitativamente el acceso a las diferentes tipologías de espacios verdes.	Brindar oportunidades de educación y sensibilización ambiental.	Mitigar las islas de calor urbano	Mejorar la calidad del aire. Controlar riesgos de inundación y remoción en masa.

Tabla 03: Visión y objetivos plan Santiago +, elaboración propia.

TIPOLOGIAS DE AV EN SANTIAGO DE CHILE	
TIPOLOGÍA	SUBTIPO
Área verde	. Parque . Plaza /plazoleta
Espacios naturales	. Bosques y renoval nativo . Cerros isla . Matorral . Matorral arborescente . Zonas protegidas
Espacios verdes asociados a cursos de agua	. Canal . Embalses y tranques . Estero . Quebrada . Río
Espacios verdes asociados a infraestructura vial	. Bandejón . Parque . Platabanda . Rotonda
Espacios verdes de equipamiento	. Cementerio . Recinto consistorial . Recinto cultural . Recinto de salud . Recinto deportivo y recreacional . Recinto educacional . Seguridad
Silvoagropecuario	. Cultivos anuales . Frutales y parronal . Plantaciones forestales . Viñedos

Tabla 04: Tipologías de área verde en Santiago de Chile, elaboración propia en base a Santiago +.

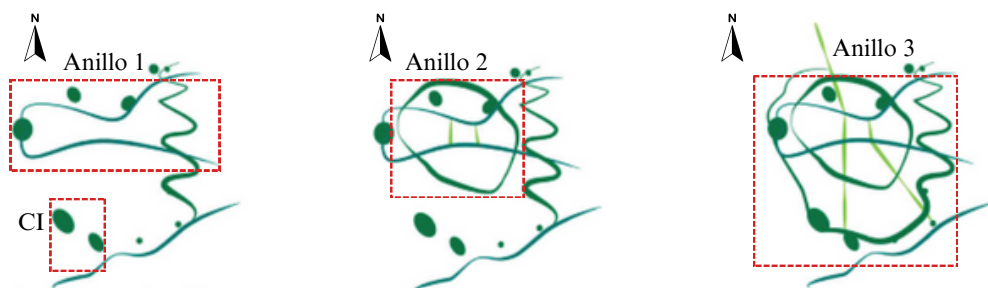


Figura 03: Estructura espacial IV Santiago, fuente: Santiago +.



Figura 04: Nodos de conexión IV Santiago, fuente: Santiago +.

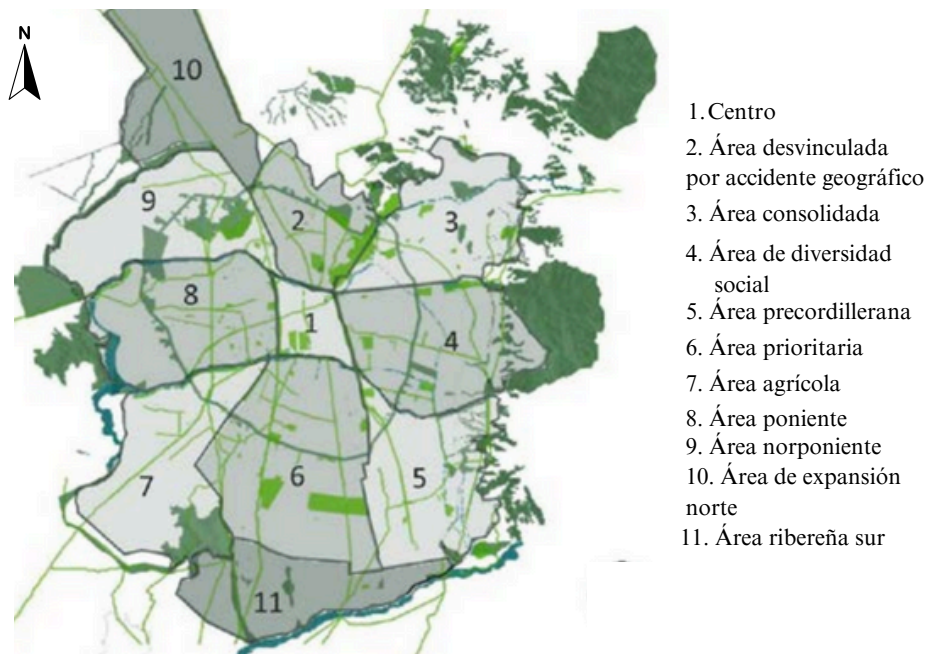


Figura 05: Sectorización Área Metropolitana, fuente: Santiago+

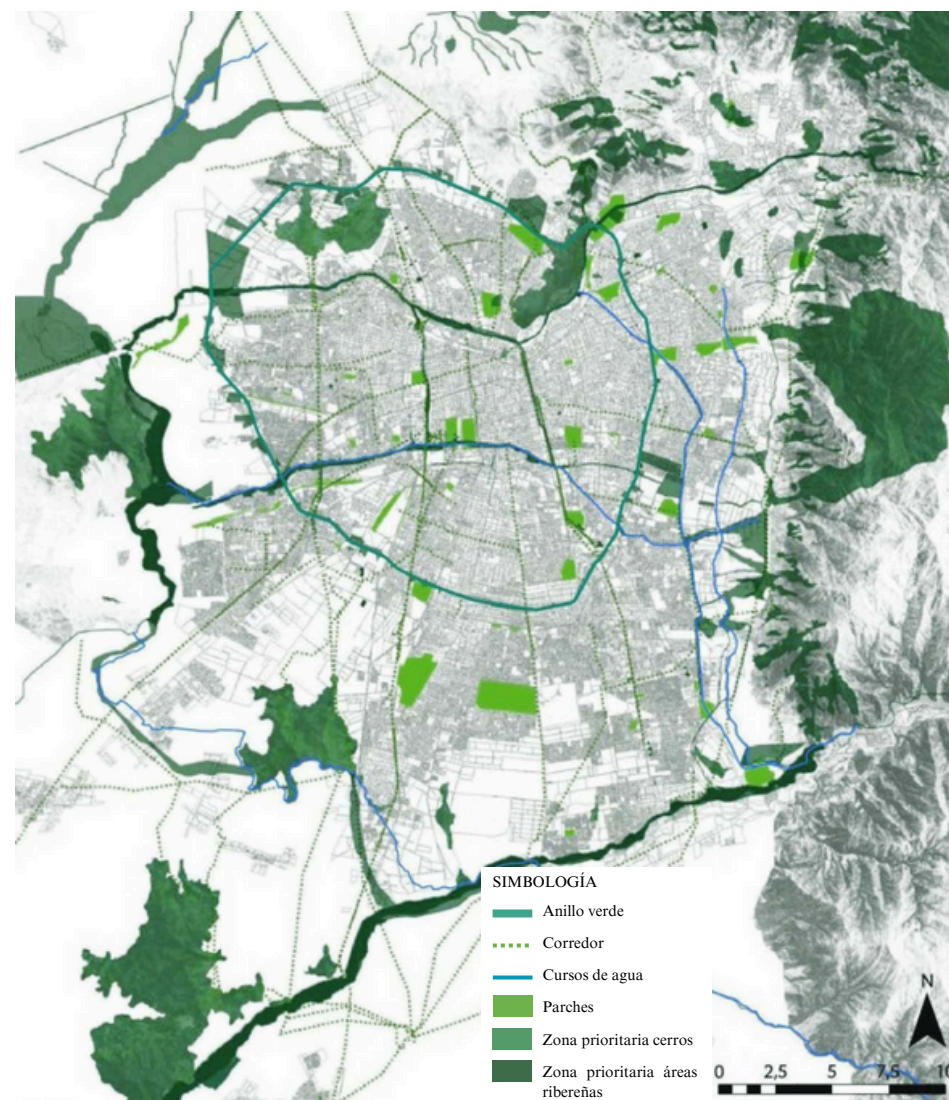


Figura 06: Plan IV Santiago, fuente: Santiago+

2. Limitaciones del estudio

En toda investigación, existen factores que condicionan el alcance del estudio y los alcances de los resultados, por lo que el presente apartado tiene por objetivo presentar las limitaciones identificadas en este trabajo y su impacto en las conclusiones. El estudio se enmarca en el contexto de un análisis remoto, por lo que se centra en estudiar la temperatura superficial de la tierra, sin considerar la temperatura atmosférica que, aunque relevante, presenta diversas limitaciones relacionadas con el acceso, precisión y viabilidad técnica de la información.

Las limitaciones se centran principalmente en el acceso limitado a datos locales, puesto que se requiere de estaciones meteorológicas locales distribuidas de forma correcta, en sitios estratégicos, algo inviable en un análisis remoto.

Por otra parte, desde teledetección remota, es difícil identificar la dependencia de datos con diversos factores climáticos como corrientes de aire, altitud, humedad, los cuales podrían complicar la diferenciación de los efectos locales en la reducción de temperatura generados por los cerros isla. Si bien existen bases de datos globales, estos se encuentran promediados, lo cual afecta a las condiciones específicas de los cerros isla.

En términos de temporalidad, el estudio se centra en el desarrollo de una metodología de análisis sobre un día específico del período estival. Por alcance de tiempo, no se desarrolla un registro del comportamiento de la LST (*land surface temperature*)² en diversos días del año; sin embargo, el estudio se plantea como una directriz que abre espacio a una posterior profundización.

Los resultados del presente estudio, aunque se remiten al comportamiento de la temperatura superficial, proporcionan información valiosa sobre el potencial de los Cerros Isla en la mejora de las condiciones térmicas locales, abriendo espacio a que futuras investigaciones profundicen en el análisis de estas, integrando mediciones de temperatura atmosférica, evaluando de forma más amplia su impacto en el microclima urbano.

2, Temperatura superficial de la tierra

3. Planteamiento del problema

El Gran Santiago, denominación que se le brinda al área metropolitana y sus 32 comunas, presenta numerosos problemas relacionados con su crecimiento, normativa y cambio climático. Entre los principales problemas, destacan la escasa presencia de áreas verdes públicas y desigual distribución en el territorio, la segregación socioespacial, pérdida de conectividad ecosistémica y riesgos en el territorio (Figura 08).

Investigaciones sobre la isla de calor urbano (ICU) han identificado al Gran Santiago como una ciudad con una marcada presencia del fenómeno, desencadenando un elevado discomfort térmico (Romero et al, 2017). El fenómeno se atribuye a un acelerado crecimiento urbano, debido a que la superficie construida aumentó considerablemente las últimas décadas (figura 07), reemplazando sistemáticamente a superficies agrícolas y áreas naturales (Molina et al., 2009).

Actualmente, la ciudad de Santiago se observa como un “mosaico urbano” donde predominan usos de altas densidades al interior del área urbana y cultivos fuera de los límites, siendo las coberturas naturales aquellas que se remiten principalmente al piedemonte andino (Romero & Molina, s.f.).

La variación espacial de temperaturas se encuentra directamente relacionada con los usos y coberturas de suelos, encontrándose diferencias de hasta dos grados en temperaturas promedio de alta y baja densidad (Romero & Molina, s.f.), surgiendo con ello una especial preocupación por la forma en la que el aumento de temperatura afecta a la población, puesto que la vegetación se distribuye de forma desigual en el territorio (figura 08), siendo los grupos socioeconómicos más favorecidos aquellos que cuentan con mayores porcentajes de cobertura vegetal, en contraste con los grupos más vulnerables (Vásquez et al., 2007) (figura 09).

La inequidad territorial propia del Gran Santiago revela la necesidad de incorporar más espacios naturales que ayuden a contrarrestar la situación actual, siendo los Cerros Isla (CI) espacios de oportunidad al tratarse de espacios que pueden actuar como potenciales reguladores climáticos.

Los CI son formaciones propias de regiones montañosas, insertas en una matriz significativamente diferente (Picón et al., 2023), las cuales, en el caso de Santiago, se distribuyen de forma homogénea por el territorio. La condición de insularidad de los cerros se debe a la presión urbana sobre ellos, la cual afecta a su estado de conservación, generando como consecuencia la fragmentación de los ecosistemas (Picón et al., 2017).

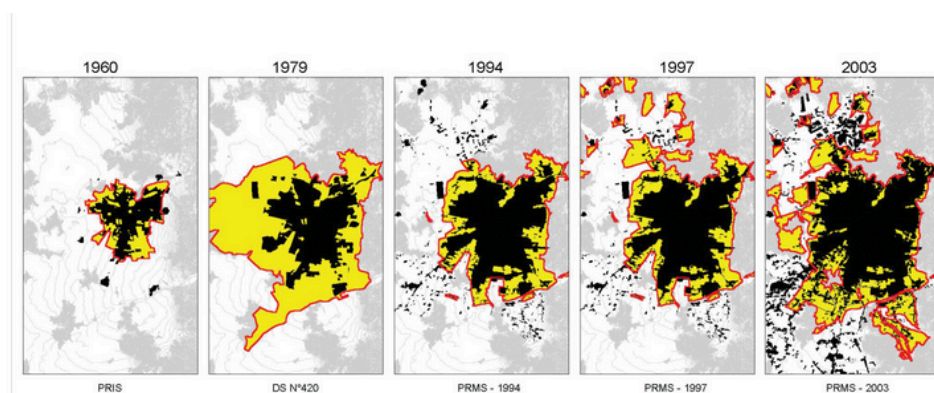


Figura 07: Evolución histórica de la ciudad de Santiago, Fuente: Poduje (2006).

Desde el punto de vista ecológico, el proceso de fragmentación en el Gran Santiago compromete el estado de conservación de la región mediterránea, una de las zonas prioritarias para la conservación de la biodiversidad global, categoría que hace referencia a áreas del planeta que concentran una alta proporción de especies endémicas, cuyos ecosistemas silvestres se encuentran altamente amenazados por las actividades humanas (Fundación Cerros Isla, 2017, p.79).

A pesar de la evidencia sobre el rol de la vegetación en la mejora del microclima urbano, no existe mayor información relacionada a los servicios ecosistémicos de regulación que los CI puedan ofrecer. La presente tesis busca cuantificar el aporte de estos cerros en la reducción de la temperatura superficial de la tierra, con el objetivo de sumar antecedentes que puedan relevar la categoría de protección de estos enclaves.

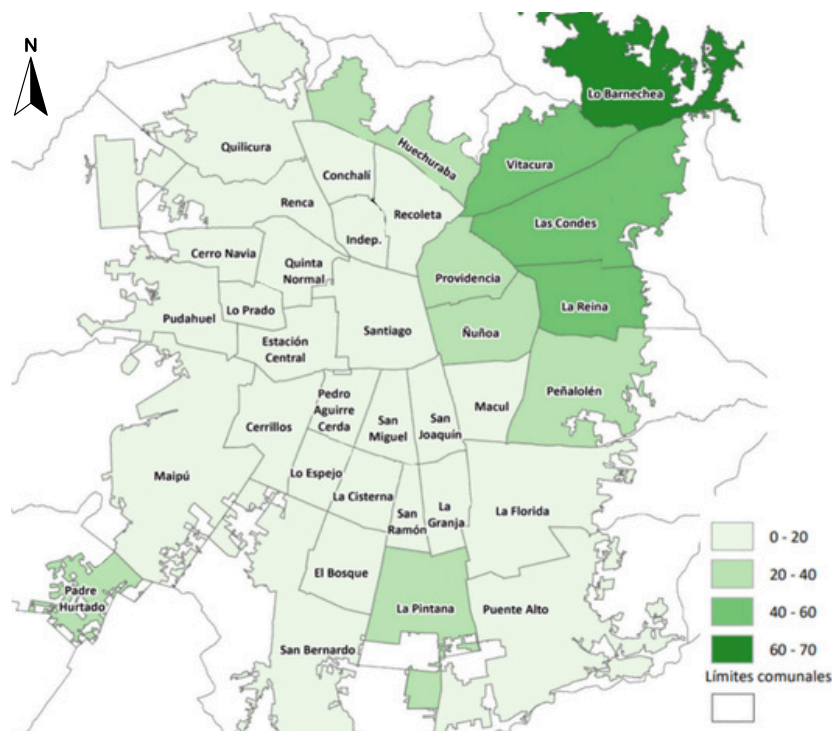


Figura 08: Cobertura de vegetación respecto del continuo de construcciones urbanas, fuente: corporación ciudades

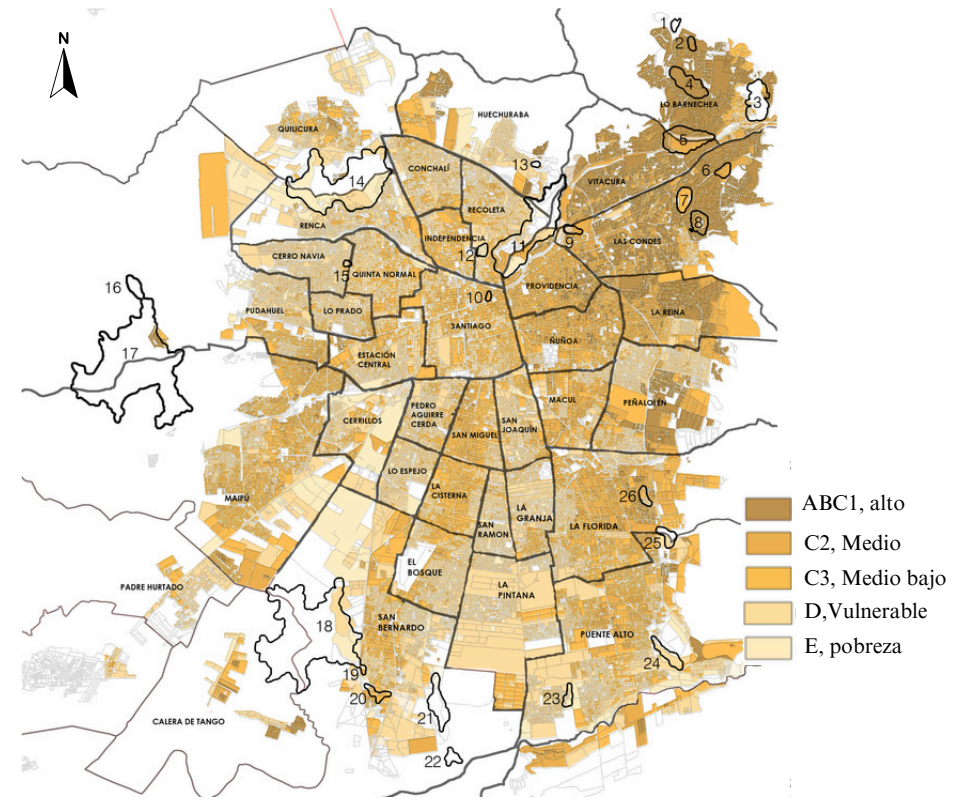


Figura 09: Distribución socioeconómica del Gran Santiago, elaboración propia en base a OGUC, fundación cerros isla.

4. Hipótesis y objetivos

La capacidad de intensidad y extensión de enfriamiento que presentan los CI no estaría determinada únicamente por las características físicas de los enclaves, como su superficie, calidad y cantidad de cobertura vegetal, sino también por el contexto urbano que ellos enfrentan. Aquellos cerros que se encuentran en tipologías urbanas de baja densidad, correspondientes a viviendas unifamiliares con menor índice de ocupación de suelo y mayores índices de vegetación normalizada, prestarían mayor capacidad de enfriamiento, en contraste con aquellos que se encuentran en tramas urbanas densas con índices de ocupación de suelo altos e índices de vegetación normalizada bajos.

4.1 Objetivo general

Identificar las relaciones entre las características físicas de los CI y su contexto urbano, en función de detectar cómo afectan a su capacidad de enfriamiento.

4.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar el área de estudio e identificar las condiciones actuales de los cerros en el contexto urbano.
2. Desarrollar matriz de variables para identificar a aquellos enclaves que presenten mayor potencial de impactar positivamente en el microclima urbano de la ciudad de Santiago.
3. Seleccionar casos de estudio pormenorizados e identificar variables a comparar y relacionar en función de LST.
4. Cuantificar y comparar la extensión e intensidad del efecto de enfriamiento de los casos de estudio.
5. Proponer recomendaciones de planificación urbana para potenciar el efecto de enfriamiento de los cerros.

5. Pregunta de investigación

¿Los cerros isla de la ciudad de Santiago tienen capacidad para reducir la temperatura superficial de la tierra y contribuir a mejorar el microclima urbano?

6. Marco teórico

El marco teórico tiene como propósito fundamentar conceptualmente la presente tesis. En este apartado, se abordarán los conceptos y teorías esenciales que sustentan el estudio, y permiten comprender la relación entre la infraestructura verde y su capacidad de reducir la temperatura superficial de la tierra, por lo tanto, el rol que podrían tener los CI en la resiliencia térmica de la ciudad. Para ello se revisará literatura existente relacionada con la mitigación de las temperaturas urbanas a través de elementos naturales y se establecerá la relación entre estos conceptos y el enfoque de la investigación.

6.1 Urbanización sostenible

En el año 1992, la Cumbre de Río constata que vivimos en un planeta urbano, y que las acciones frente a la crisis ambiental deben desarrollarse desde las ciudades y sus entornos de influencia; sin embargo, dicha cumbre no tuvo mayor repercusión y hoy en día el medio urbano sufre fuertes impactos derivados del cambio climático, siendo uno de ellos el calor extremo.

A modo de dar respuesta a las repercusiones climáticas en entornos urbanos, nace la agenda Hábitat III, realizada el año 2016 en la ciudad de Quito, promoviendo políticas para reducir la vulnerabilidad y aumentar la adaptación de las ciudades al cambio climático, destacando la importancia de integrar la planificación urbana con la conservación del medio ambiente, fomentando la resiliencia al cambio climático y el uso sostenible de recursos (Naciones Unidas, 2017).

La Agenda 2030 plantea en su objetivo número 13 la necesidad de adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, declarando que el período comprendido entre el 2010 y el 2019 ha sido el más caluroso que se ha registrado, lo cual afecta directamente a poblaciones más vulnerables y a los ecosistemas (Naciones Unidas, 2015).

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar una planificación urbana integral; es así como las últimas tendencias de planificación reconocen el rol de los elementos naturales y seminaturales como infraestructuras prestadoras de servicios ecosistémicos.

6.1.1 Planificación urbana ecológica

La planificación urbana ecológica es una herramienta que otorga relevancia a los elementos naturales en las urbes, considerándolos como elementos estructurantes de un desarrollo sustentable, ello a través del uso y planificación de infraestructuras verdes en el territorio, asegurando gradientes urbano-naturales, cuyo objetivo es la resiliencia territorial y el bienestar de la población (Picón et al., 2017). Es una respuesta que integra la planificación y gestión urbana con principios ecológicos para enfrentar los desafíos actuales. Dentro de sus características, se encuentra la de proyectar la ciudad en diferentes niveles (subsuelo, superficie, altura), para de esta forma dar paso a una ocupación más eficiente del espacio (Rueda, S; sf). Dentro de los principales desafíos del urbanismo ecológico, se encuentra el de preservar la biodiversidad y valores naturales, minimizar el consumo de recursos y su impacto, reducir el consumo de suelo para transformar los sistemas urbanos en ciudades más sostenibles y resilientes, capaces de hacer frente tanto a crisis ambientales como sociales del futuro (Rueda, S; sf). Otro aspecto relevante es el de mejorar la habitabilidad urbana a través de entornos que mejoren el confort térmico, acústico y de calidad del aire y potenciar la cohesión social promoviendo diseños que potencien la interacción y convivencia ciudadana (Rueda, S; sf). Para su desarrollo, se torna indispensable comprender cómo se estructura y funciona la naturaleza en términos generales y locales, las relaciones entre los elementos naturales que la componen y su relación con elementos urbanos (Picón et al, 2017).

En el caso de Chile, algunas instituciones y centros de estudio han elaborado lineamientos para el desarrollo de una planificación ecológica en el Gran Santiago. Los lineamientos planteados se traducen en una propuesta de mosaico ecológico urbano, la cual se centra en la provisión de servicios ecosistémicos localmente relevantes.

	RECONOCER EL DINAMISMO Y RESILIENCIA DE LOS ECOSISTEMAS	ASEGURAR LA PROVISIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTEMICOS EN EL LARGO PLAZO	INCORPORAR LA NATURALEZA DE LAS ÁREAS URBANAS A TRAVÉS DE INFRAESTRUCTURA VERDE	DIRIGIR UNA COMPRENSION INTERDISCIPLINARIA Y HOLISTICA DEL TERRITORIO	PLANIFICAR DE MANERA SUSTENTABLE LA INTEGRALIDAD DEL TERRITORIO ARMONIZANDO SUS FORMAS
NATURALEZA	Reconocer las funciones ecosistémicas de relevancia socio-ecológica a nivel de cuenca y proteger los espacios necesarios para asegurar su conservación	Identificar las múltiples funciones que los ecosistemas y los espacios públicos desempeñan en el buen funcionamiento de las ciudades, reconociéndolos como infraestructuras prestadoras de servicios.	Generar una infraestructura verde multifuncional que asegure la provisión de servicios ecosistémicos relevantes para la sostenibilidad y resiliencia del territorio regional.	Fortalecer el sistema de gobernanza regional para planificar adecuadamente los procesos sociales, naturales e institucionales inherentes al territorio y su adecuada integración.	Considerar que el territorio está compuesto por una red intrincada de zonas urbanas, rurales y naturales en diferentes configuraciones, y planificarlo reconociendo sus procesos biofísicos y sociales.
	Proteger la heterogeneidad y resiliencia de los ecosistemas y la conectividad entre ellos para potenciar su interacción y enfrentar desastres socio-naturales, en especial aquellos derivados del cambio climático.	Considerar en la toma de decisiones tanto las necesidades esenciales para la supervivencia humana, como la capacidad de los ecosistemas de generar los bienes y servicios esperados.	Velar por la distribución equitativa de la infraestructura verde asegurando la entrega de servicios ecosistémicos a toda la población, acorde a las necesidades particulares de cada grupo.	Abordar el territorio desde una visión integral y transdisciplinaria a través de un análisis integrado de los componentes sociales y naturales del sistema territorial.	Armonizar los bordes entre las zonas densamente urbanizadas y las áreas naturales o agrícolas permitiendo el desarrollo de gradientes de urbanización, y generando zonas de transición entre distintas formas de ocupación del territorio.
	Capitalizar los elementos naturales resilientes propios de la región para adecuar el desarrollo urbano a la variabilidad climática y presupuestaria.	Evaluar la capacidad productiva del territorio y sus límites, asegurando el bienestar económico y la calidad de vida de sus habitantes.	Favorecer el diseño de soluciones basadas en la naturaleza, como la incorporación de vegetación nativa en los espacios públicos y privados.	Incluir a la ciudadanía en la toma de decisiones, reconociendo la manera en que ésta valora, experimenta y proyecta su relación con los ecosistemas y sus servicios.	Generar normativas y regulaciones adecuadas a las distintas formas de ocupación del territorio, así como zonas de transición entre ellos, propiciando el desarrollo sustentable.
SOCIEDAD					

Tabla 05. Principios y criterios de planificación ecológica para Santiago, Elaboración propia en base a *Fundación cerros isla*

6.1.2 Infraestructura verde

La infraestructura verde (IV) es definida por Benedict y McMahon (2006) como una red interconectada de espacios verdes naturales, seminaturales y artificiales que sostienen los procesos ecológicos en un territorio, garantizando así la calidad de vida de las personas y las comunidades. El concepto comprende una aproximación al ordenamiento territorial y la planificación, de forma de regular los impactos generados por acciones antrópicas, persiguiendo la mejora de las ciudades y su adaptación hacia el cambio climático.

Un ejemplo reciente es el *Plan del Verde y la Biodiversidad de Valencia* (PVBV), el cual busca transformar la ciudad a través de la mejora y ampliación de sus espacios verdes y biodiversidad urbana. El plan se estructura a través de un diagnóstico inicial de la IV, identificando sus áreas verdes formales e informales y accesibilidad, y con ello los servicios socioambientales de las mismas. El plan propone mejoras en las áreas verdes comprendiendo el origen geográfico, natural y cultural de la ciudad, por lo que destacar la importancia de su huerta, red de acequias y afluentes como parte de una IV es fundamental (Figura 10).

Para abordar los objetivos principales (Tabla 06), el plan se estructura a través de líneas estratégicas, las cuales consisten en el aumento y mejora de espacios verdes, conectividad entre estos, maximización de beneficios socioambientales y adaptación a cambio climático. Todo ello a través de planes de acción basados en estrategias de corto, medio y largo plazo con diversas escalas de intervención: Supramunicipal (conexión Valencia-huerta-río), urbana (corredores verdes) y barrial (intervenciones a menor escala).

OBJETIVOS PRINCIPALES	
1	Mitigar efectos de la emergencia climática
2	Salvaguardar patrimonio natural, cultural y social
3	Incrementar la biodiversidad en el ecosistema urbano
4	Unir los espacios verdes urbanos e IV regional
5	Integrar biodiversidad en políticas internacionales

Tabla 06: Objetivos plan verde de la biodiversidad de Valencia.



Figura10: IV Valencia, fuente: PVBV (2023).

El plan se estructura a través de un anillo semiabierto hacia el mar como amortiguador entre la ciudad y la huerta, para proteger y fomentar la actividad agrícola (figura 11). La segunda red estructurante corresponde a corredores hacia la huerta, los cuales conectan el centro urbano con la misma (figura 12). Finalmente dos ejes urbanos se consolidarían como conexión de huerta norte-sur y el segundo como conexión de la ciudad con su frente marítimo (figura 13). El plan de infraestructura verde de Valencia busca, por lo tanto, renaturalizar la ciudad, conectando sus ecosistemas con miras hacia la sostenibilidad y resiliencia urbana.

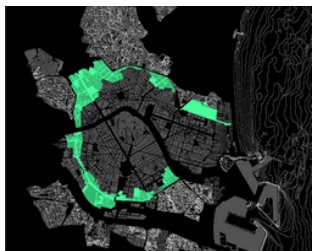


Figura 11: anillo de amortiguación, fuente: PVBV

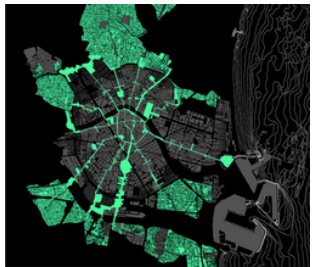


Figura 12: Conexión huerta-centro, fuente: PVBV

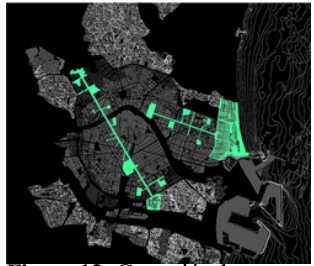


Figura 13: Conexión huerta norte- sur, fuente: PVBV

6.2 Cerros isla (CI)

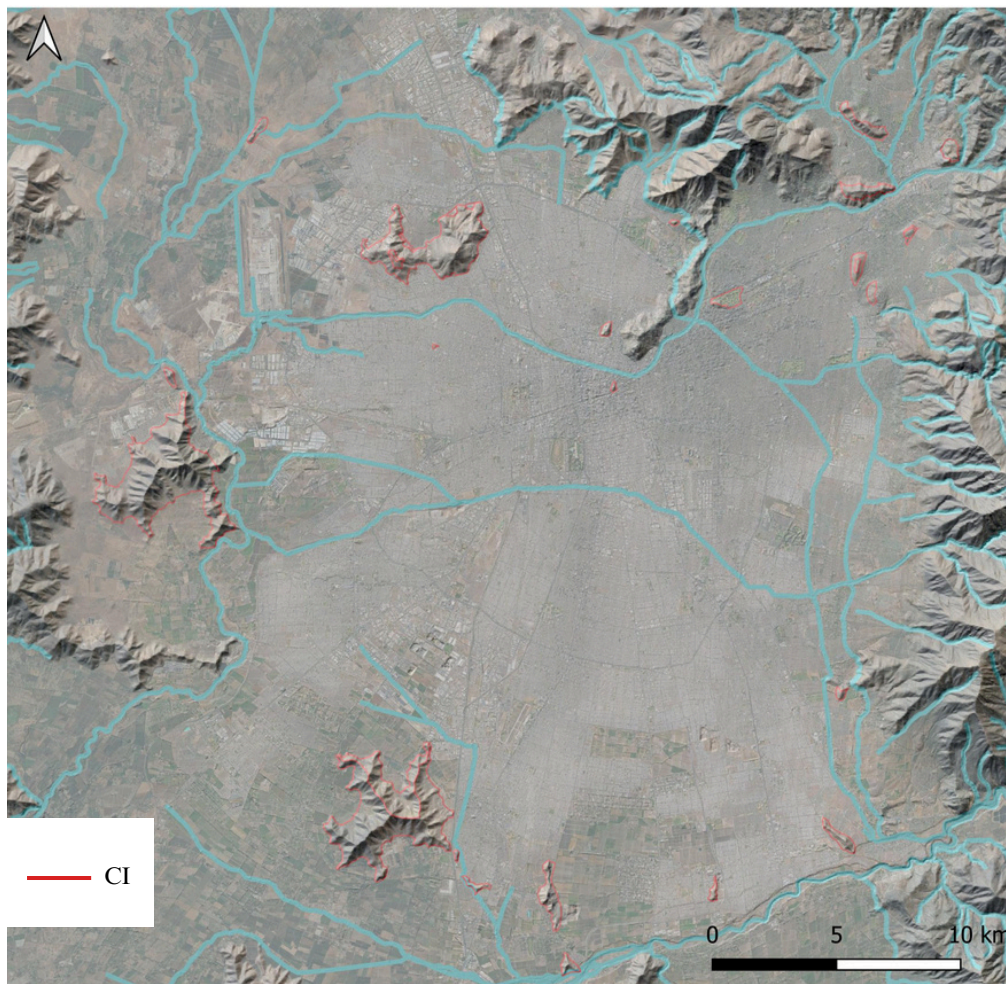


Figura 14: Modelo de sombras CI en la ciudad de Santiago, elaboración propia.

Los CI corresponden a fragmentos aislados dentro de una matriz urbana plana (figura 14); son formaciones propias de la topografía de regiones montañosas. Muchos de ellos están insertos en áreas urbanas o agrícolas, situación que incrementa su condición de isla biogeográfica (Picón et al, 2023). Desde la perspectiva geográfica, los CI del Gran Santiago corresponden a elementos estructurales de los procesos tectónicos originales ocurridos en la cuenca, que

aun no han sido suficientemente desgastados por la acción erosiva del clima, ríos o procesos geológicos y volcánicos (Fundación Cerros Isla, 2017, p. 45). Corresponden a los últimos vestigios de antiguos bordes de cordillera. La existencia de una depresión y secuencias de aluviones, crecidas fluviales y erupciones volcánicas ha determinado la forma del valle y sus prominencias (Fundación Cerros Isla, 2017, p. 45).

A pesar de su condición de insularidad potenciada por la expansión urbana, estos enclaves se presentan como una oportunidad para brindar servicios ecosistémicos a través de la conservación de su flora y fauna nativa (Fundación Cerros Isla, 2017). Por otra parte, su homogénea distribución en el territorio hace que estos enclaves se presenten como una oportunidad de equiparar la desigualdad en la distribución de las áreas verdes de la ciudad de Santiago (figura 15).



Figura 15 : Áreas verdes y CI en la ciudad de Santiago, fuente: *Fundación cerros isla*

6.3 Servicios ecosistémicos

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2019) define los servicios ecosistémicos (SE) como beneficios que la humanidad adquiere a través de sus ecosistemas, ya sea de forma directa o indirecta.

Dentro de los servicios ecosistémicos que se identifican, están los de provisión, regulación, culturales y de soporte (Fundación Cerros Isla, 2017, p.85). Los servicios de soporte corresponden a aquellos que se constituyen como la base para que otros servicios existan; son fundamentales para el mantenimiento de la estructura de los ecosistemas. Entre ellos se encuentran el ciclo de nutrientes, ciclo del agua, formación de suelo y producción primaria. Los servicios de provisión corresponden a los productos obtenidos de los ecosistemas, los servicios de regulación guardan relación con la regulación del clima, y los servicios culturales están relacionados con los beneficios intangibles que obtienen las personas de los ecosistemas, tales como la recreación, valor ornamental e inspiración (Cilliers et al., 2013). En el año 2000, el secretario general de las Naciones Unidas, Kofi Annan, convoca a la “*Evaluación de ecosistemas del milenio*” (EM) para evaluar las consecuencias del cambio de los ecosistemas para el bienestar humano y con ello poder trabajar en el desarrollo de una base científica para acciones destinadas a mejorar la conservación y el uso sostenible de los sistemas. Los hallazgos de la EM proporcionaron una evaluación acerca de la condición y las tendencias de los ecosistemas y sus servicios (Tabla 07).

Respecto de los servicios ecosistémicos que pueden brindar los CI, se plantea que no hay muchos estudios que los hayan cuantificado, y los estudios se han centrado principalmente en el control de la erosión, captura de contaminantes y en la oferta de hábitats para la biodiversidad nativa (Fundación Cerros Isla, 2017, p.85). Un estudio realizado por Retamal plantea que los CI poseen una capacidad única para brindar servicios ecosistémicos urbanos, enfocándose en la regulación de la calidad del aire, la infiltración del agua y el control de la erosión (Retamal et al., 2015), concluyendo que la consolidación de un proyecto parque en cerro Chena permitiría aumentar de forma significativa los SE mencionados (Tabla 08).

Servicios de aprovisionamiento	Servicios de regulación	Servicios culturales
Productos obtenidos de los ecosistemas Alimentos Agua dulce Fibras Bioquímicos Recursos genéticos	Beneficios obtenidos de la regulación de procesos de los ecosistemas Regulación del clima Regulación de enfermedades Regulación y saneamiento de agua Polinización	Beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas Espiritual y religiosos Recreativo y turístico Estético Inspirativo Educativo Identidad de sitio Herencia cultural
Servicios de soporte Servicios necesarios para la producción de otros servicios ecosistémicos Formación de suelos Reciclaje de nutrientes Producción primaria		

Tabla 07. Clasificación de los servicios ecosistémicos (Adaptado de: Millennium Ecosystem Assessment -MEA (2005) y Camacho & Ruiz (2012).

SE urbano	Parámetro	CI Actual	CI proyecto cerro parque	Mejoramiento
Regulación calidad del aire	Contaminantes (Toneladas/año)	50,08	93,12	Incremento 86%
Infiltración de aguas lluvia	Tipo de cobertura (m³)	570.894,17	1.162.367,64	104%
Control de erosión	Zonas de alto riesgo (Há)	645,14	57,2	Disminución 91%

Tabla 08. Síntesis de resultados de SE cerro Chena, elaboración propia en base a Retamal (2015).

A pesar de no encontrarse literatura específica respecto de la cuantificación de otros SE de los cerros, se reconoce el potencial de estos enclaves en la provisión de estos a través del goce y acceso a estas AV urbanas (Tabla 09).

SE Cerros isla			
Aprovisionamiento Materiales Alimentos	Regulación Clima Purificación del aire Captura de carbono Moderación de eventos extremos Infiltración de aguas lluvia Disminución de erosión Polinización Control biológico	Soporte Hábitat de especies Mantención de biodiversidad Formación de suelos Conectividad de paisaje	Cultural Recreación Turismo Apreciación estética Espiritualidad Sentido de lugar Salud mental

Tabla 09. SE CI, elaboración propia en base a Fundación cerros isla (2017).

6.3.1 Forestación urbana

Una de las estrategias más efectivas en el combate del cambio climático y la mitigación de la temperatura es el aumento de la cobertura vegetal; el panel intergubernamental del cambio climático ha dado prioridad a esta estrategia y los gobiernos han firmado compromisos para aumentar la superficie forestal al año 2030 (Reyes-Paecke, 2020). La vegetación es entonces un elemento clave en la infraestructura urbana al brindar numerosos servicios ecosistémicos, entre ellos el de regulación del clima, siendo los cambios en épocas estivales aquellos que contribuyen a generar un mayor confort térmico. Se entiende por confort térmico como el “estado subjetivo de comodidad del usuario en un espacio determinado, basado en las necesidades y requerimientos tanto del usuario como del espacio mismo, para la realización de una actividad dada, en el que adaptarse a su entorno le requiere solamente un mínimo de energía-zona de confort” (Therán et al., 2019, p. 80).

La relación entre el confort térmico y la vegetación ha sido estudiada a nivel mundial, donde se ha cuantificado la intensidad del efecto de la vegetación sobre las temperaturas y la humedad en los espacios verdes. El estudio "*Confort térmico producido por la vegetación arbórea en el macrocentro de Bahía Blanca*" concluye que los árboles urbanos contribuyen significativamente a la regulación de la temperatura; mediciones muestran que, bajo la copa de los árboles, la temperatura del aire es considerablemente menor en comparación con áreas sin cobertura vegetal, y la humedad relativa es mayor (Duval et al., 2022). Según Therán, Rodríguez, Mouthon y Manjarres (2019), los árboles urbanos pueden modificar la temperatura del aire, aumentar la humedad del aire, reducir la velocidad del viento y modificar los contaminantes.

6.4 Temperatura superficial de la tierra (LST)

La temperatura superficial terrestre (LST)² es la temperatura de la capa más externa de la tierra; se considera que es un parámetro clave en estudios relacionados con los procesos que ocurren en la superficie terrestre, como la evapotranspiración y el cambio climático (Ndossi et al., 2016).

Dentro de los factores que determinarían la temperatura superficial de la tierra, se encuentran la urbanización, la superficie de vegetación, superficie de agua, materialidad del entorno construido y condiciones atmosféricas (Mohiuddin et al, 2021). La temperatura superficial terrestre varía bastante según la diversidad de superficies y materiales con los que esta se componga. Existe una correlación negativa respecto del NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)³, siendo los barrios con temperaturas más bajas aquellos que presentan más vegetación (Santos da Silva et al., 2023).

6.4.1 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Es una medida que se utiliza para evaluar la salud y densidad de la vegetación en la superficie terrestre. Su cálculo se basa en la diferencia entre la radiación reflejada en el infrarrojo cercano (NIR) y la luz visible (VIS) (Earth Observatory, NASA), expresándose de la siguiente manera:

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)}$$

Rango NDVI	Descripción	Ejemplo
Valores negativos (-1 a 0)	Agua	Océanos, lagos, ríos
Cercanos a 0 (-0.1 a 0.1)	Áreas estériles o sin vegetación	Rocas, arena, nieve
Bajos positivos (0.2 a 0.4)	Vegetación dispersa o escasa	Arbustos, pastizales, cultivos iniciales
Altos positivos (0.5 a 1)	Vegetación densa y saludable	Bosques templados o tropicales

Tabla 10. Rangos de NDVI, Elaboración propia en base a Earth observatory, NASA.

2. Land surface temperature
3. índice de vegetación de diferencia normalizada

6.5 Microclima urbano y la justicia climática

Hoy en día, la mayor parte de la población mundial vive en grandes centros urbanos (ONU, 2018). La ocupación del territorio de forma intensa y desorganizada ha generado grandes daños en el medio ambiente que han cambiado el uso y cobertura del suelo en las ciudades, generando con ello alteraciones en el microclima urbano. Este concepto sería el resultado de diversos factores interrelacionados, dentro de los cuales se encuentra la sustitución de superficies vegetales por superficies duras de pavimentos impermeables que alteran la refrigeración natural al conformarse de materiales que poseen mayores propiedades térmicas que implican mayor absorción de calor y las actividades humanas como el transporte, la industria y los sistemas de calefacción. Los materiales expuestos a la radiación convierten la radiación en calor que en una parte se acumula y en otra se reemite a la atmósfera en función de las características que este posea (Tumini, 2012).

Dentro de las principales diferencias entre el espacio urbano y el espacio rural, se encuentra la presencia de vegetación y de espacios naturales; es que la vegetación contribuye a la reducción de la temperatura a través de la captación de la radiación solar y la evapotranspiración (Tumini, 2012). La evapotranspiración corresponde al proceso donde el agua es transferida desde la tierra a la atmósfera a través del suelo, en forma de vapor de agua y a través de hojas y tallos hacia el aire más seco (NASA, 2021).

Los climas urbanos, por lo tanto, participan de procesos de desigualdad ambiental, puesto que, principalmente en las ciudades latinoamericanas, y específicamente en el caso de Santiago de Chile, la distribución de la vegetación no es homogénea y, por lo tanto, el acceso a un clima urbano beneficioso, seguro y saludable depende del poder adquisitivo de las personas (Romero et al., 2020).

Dentro de la ciudad de Santiago de Chile, los climas urbanos que ofrecen mayor confort térmico se asocian al sector oriente (figura 16), donde se concentran barrios de altos recursos que presentan altas tasas de vegetación, niveles de humedad, ventilación de suelo y densidades poblacionales menores con predominancia de jardines, parques y calles ajardinadas.

En contraste, el sector poniente de la capital, con una urbanización de alta densidad y sin espacios verdes, presenta climas urbanos más hostiles (figuras 17,18). La desproporcionada diferencia de climas, centrada principalmente en áreas de mayor vulnerabilidad económica, revela una injusticia climática (Romero et al., 2020).



Figura 16: Sectores de Santiago, elaboración propia



	Estación Central	Vitacura
Vegetação	6,4%	43,8%
Edificações	52,3%	33,7%
Asfalto	41,3%	22,5%

Figura 17: Comparación de uso y cobertura de suelo entre comunas; fuente: Romero et al. (2020).

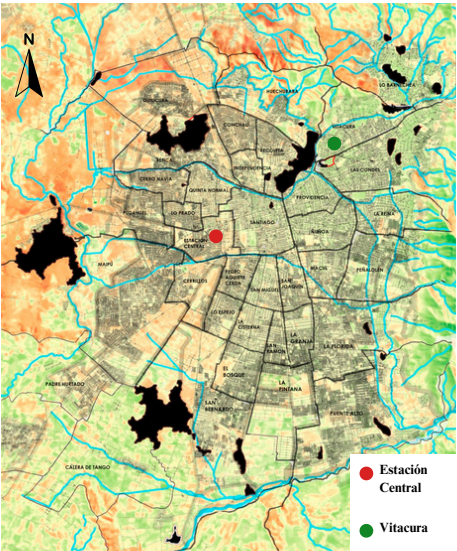


Figura 18: LST Estación Central y Vitacura, elaboración propia

6.5.1 Isla de calor urbano

La urbanización modifica artificialmente las condiciones climáticas a través del aumento de las temperaturas, disminución de la humedad del aire y velocidad del viento, todo lo cual favorece la consolidación de islas de calor urbanas (ICU) (Sarricolea et al., 2008, p. 72). El efecto de la isla de calor urbana se define como la diferencia entre el área urbana y sus alrededores, siendo la respuesta al resultado de dos procesos; el primero corresponde a la modificación en la cobertura de suelo, transformando estas superficies con materiales impermeables asociados a la urbanización (Villanueva et al., 2013); el segundo corresponde a las actividades que se desarrollan en la ciudad y las emisiones térmicas que estas mismas producen. La Agencia Espacial Europea declara que la elevada capacidad térmica que presentan los materiales seleccionados para crear el entorno construido amplifica las altas temperaturas, limitando su capacidad de enfriamiento por las noches. Los factores que generan este diferencial térmico se atribuyen al uso de materiales que absorben y retienen calor solar, la reducción de la vegetación y con ello su capacidad de producir sombra natural y evapotranspiración (Taha, 1997); por otra parte, el calor generado por actividades humanas, incluyendo vehículos, industria y sistemas de climatización (Oke et al., 2017).

En base a lo mencionado, y entendiendo las ciudades como sistemas altamente complejos que contienen una heterogeneidad térmica al interior de sus tejidos, el fenómeno de ICU, más allá de entenderse como singular, debe comprenderse como “*archipiélagos de calor y frescor*” (Lemoine et al., 2024), que presentan variabilidad temporal entre el día (momento donde superficies acumulan calor), la noche (momento donde superficies liberan calor) y la variabilidad estacional, siendo más pronunciado el fenómeno en periodos de calor extremo. Dentro de los principales impactos asociados a este fenómeno, se encuentra el riesgo de enfermedades asociadas al calor (Palmeiro Silva et al., 2024), aumento del consumo energético asociado a la refrigeración (Akbari et al., 2001) y la reducción de bienestar y habitabilidad de los espacios urbanos (Harlan et al., 2006).

El estudio *Temperatura Superficial Terrestre y NDVI de los Barrios del Área Urbana de Arapiraca – AL: Un análisis a partir de las estadísticas zonales* (Santos da Silva et al., 2023), cuyo objetivo consistía en desarrollar un análisis comparativo entre la cobertura vegetal, representada por el índice de vegetación normalizada (NDVI) y la temperatura superficial terrestre (LST) del área urbana del municipio de Arapiraca a través de herramientas de teledetección, concluye que existe una relación correlativa negativa entre los valores de NDVI y LST, es decir, en barrios donde había valores altos de NDVI había valores bajos de LST y viceversa.

Al observar los mapas (figura 19), se puede concluir que las áreas que presentan mayor cobertura vegetal y valores positivos de NDVI corresponden a temperaturas menores, que pueden aportar a contrarrestar el fenómeno de ICU, aportando frescor con un *efecto de enfriamiento*.

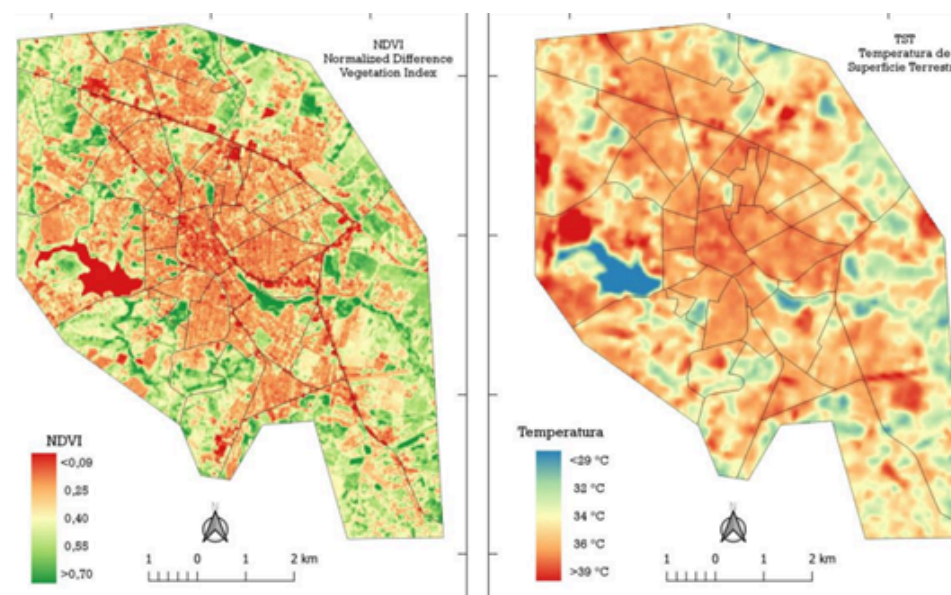


Figura 19. Relación NDVI - LST , fuente: Santos da Silva et al. (2023).

6.5.2 Efecto de enfriamiento

Los espacios verdes urbanos (EVU) brindan una amplia variedad de servicios ecosistémicos, puesto que la vegetación puede generar un efecto termorregulador denominado “efecto de enfriamiento” o “*Park cooling island*” (PCI), el cual tiene la capacidad de extenderse en su entorno. El efecto de enfriamiento de un parque puede cuantificarse por límite de extensión, entendiéndose como la distancia máxima alcanzada por la caída de temperatura fuera de los límites del parque y por la intensidad de enfriamiento (figura 20), siendo la diferencia de temperatura entre el parque y el espacio urbano en sus alrededores (Arellano et al; 2019).

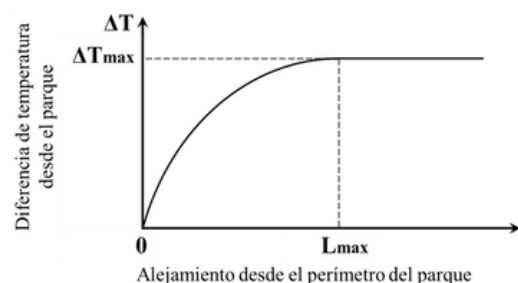


Figura 20. Representación conceptual de enfriamiento, fuente: Adaptación Arellano et al. (2019).

El estudio “*Mapping and Analyzing the Park Cooling Effect on Urban Heat Island in an Expanding City: A Case Study in Zhengzhou City, China (2020)*” establece que la urbanización acelerada, producto de políticas nacionales que favorecieron el desarrollo económico y el crecimiento poblacional, ha expandido el área construida cinco veces en veinte años, intensificando el fenómeno de isla de calor urbano, siendo una de las mayores ciudades de transporte en China, con una población de 9,56 millones en 2017. El objetivo del estudio se centró en analizar la relación entre el tamaño de los parques, sus métricas espaciales y el efecto de enfriamiento de los parques (PCI), utilizando imágenes de satélite y herramientas de análisis espacial. A través de imágenes Landsat 8, se obtiene información de la temperatura superficial de la tierra, además de indicadores como la cobertura fraccionada de vegetación (FVC), índice de diferencia normalizada del agua (NDWI) e índice de diferencia normalizada de superficie impermeable (NDISI).

Posteriormente se realiza una muestra, donde se analizaron 123 parques divididos en 5 tipos: parques urbanos, temáticos, callejeros, lineales y plazas urbanas, y se calculó su intensidad de enfriamiento del parque, entendiéndolo como la diferencia de temperatura media entre el parque y un buffer de 500 m alrededor, para cuantificar el efecto de enfriamiento en su entorno urbano. Para entender cómo las características geométricas del parque influyen en su capacidad de enfriamiento y su interacción con el paisaje circundante, se analizan métricas de los parques tales como la relación perímetro/área (Paratio), índice de forma de paisaje e índice de dimensión fractal.

En general, el LST medio de los parques fue menor que el LST medio de la ciudad de Zhengzhou. Los resultados muestran que la temperatura promedio de la categoría de parque temático fue notablemente más baja que la temperatura promedio de la ciudad de Zhengzhou. Su efecto de enfriamiento es el más fuerte, donde el PCI promedio alcanzó los 2,76 °C. Las plazas urbanas tuvieron la temperatura más alta, con un LST de 0,02 °C más bajo que el LST promedio en Zhengzhou. El estudio concluye que las características del parque definidas por su tamaño, la relación del área perimetral y las dimensiones fractales afectan directamente al PCI y este está influenciado por los tipos de cobertura terrestre circundante, cobertura vegetal y superficie de agua. El estudio recomienda considerar la construcción de grandes parques urbanos o temáticos dentro de superficies altamente impermeables, ya que en ese contexto habrá mayor PCI.

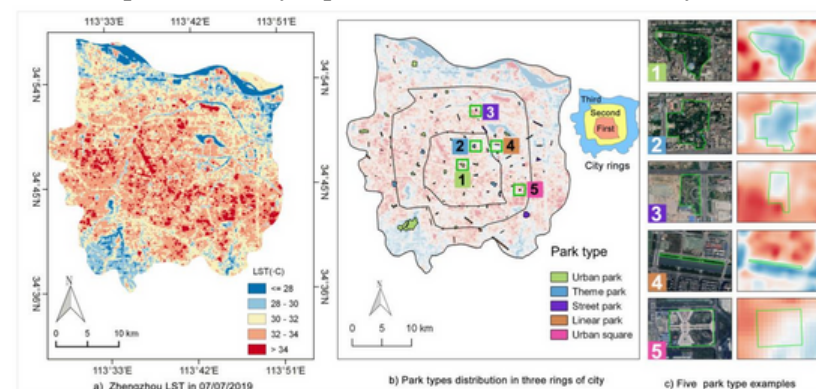


Figura 21. Relación tipos de parque- LTS, fuente: Li, Huawei (2020).

7. Enfoque metodológico

El presente estudio adopta un enfoque metodológico mixto, combinando técnicas de análisis cuantitativo, comparativo, cualitativo y proyectual, para evaluar la capacidad de los CI en la ciudad de Santiago de reducir la LST y mejorar el microclima urbano, basándose en la relación de variables. La investigación se estructura en cinco objetivos específicos. Primeramente, se realiza un análisis cualitativo, donde se caracteriza el área de estudio e identifican las condiciones actuales de los CI en el contexto urbano. Para responder al segundo objetivo, el de identificar aquellos enclaves que presentan mayor potencial de impactar positivamente en el microclima urbano, se diseña una matriz de variables normalizadas cuya ponderación otorgará los resultados de aquellos enclaves que presentan mayor potencial de impacto positivo.

El tercer objetivo consiste en seleccionar casos de estudio pormenorizados; mantiene un enfoque comparativo, identificando dos casos y observando el comportamiento de la temperatura superficial en relación con variables que respondan a la interrogante de cómo inciden en el potencial de enfriamiento de los enclaves. El cuarto objetivo es de carácter cuantitativo y se centra en identificar y comparar la intensidad y extensión del enfriamiento de los diferentes CI, mediante la utilización de dos métodos, el de anillos concéntricos y el de la utilización de transectos, ello a través de la utilización de sistemas de información geográfica. El quinto y último objetivo responde a un enfoque proyectual de carácter propositivo, el cual se centra en plantear recomendaciones en la planificación urbana para lograr potenciar el efecto de enfriamiento de un determinado caso dentro del Gran Santiago.

El análisis de capacidad de impacto positivo se centra en cuatro dimensiones:

Térmico: Se utiliza Google Earth Engine y software QGIS para la obtención de datos satelitales y el cálculo de la temperatura superficial terrestre (LST).

Morfología urbana: Se identifican tipologías de urbanización para analizar el contexto urbano en el que se insertan los cerros y sus índices de ocupación de suelo.

Características físicas del cerro: Se integra información geográfica, revisión documental y datos de Sentinel Browser para evaluar el índice de vegetación de

diferencia normalizada (NDVI).

Socioespacial: Se utilizan fuentes como el OCUC, el Observatorio de Ciudades UC y la base de datos CASEN para caracterizar el contexto socioeconómico de los sectores aledaños a los cerros isla.

En cuanto al análisis de casos de estudio pormenorizado, las variables a considerar para analizar tanto la intensidad como extensión del efecto de enfriamiento de los cerros guardan relación con la superficie de los enclaves, índice de ocupación de suelo y NDVI.

7.1 Diseño metodológico

Título	TEMPERTURA SUPERFICIAL TERRESTRE					
Pregunta de investigación	¿Los cerros isla de la ciudad de Santiago tienen capacidad para reducir la temperatura superficial de la tierra y contribuir a mejorar el microclima urbano?					
Objetivo general	Identificar las relaciones entre las características físicas de los CI y la morfología urbana que los rodea en función de identificar cómo influyen en su capacidad de reducir la temperatura superficial de la tierra.					
Objetivos específicos	OE1 Caracterizar el área de estudio e identificar las condiciones actuales de los cerros en el contexto urbano	OE2 Desarrollar matriz de variables para identificar a aquellos enclaves que presenten mayor potencial de impactar positivamente en el microclima urbano de la ciudad de Santiago.	OE3 Seleccionar casos de estudio pormenorizados e identificar variables a comparar y relacionar en función de LTS	OE4 Cuantificar y comparar la extensión e intensidad del efecto de enfriamiento de los casos de estudio.	OE5 Proponer recomendaciones de planificación urbana para potenciar el efecto de enfriamiento de los cerros.	
Identificación de enclaves con mayor capacidad de impacto positivo	DIMENSIONES DE ANÁLISIS	INSTRUMENTOS DE OBTENCIÓN DE DATOS		VARIABLES POR CERRO	SELECCION ENCLAVES Análisis de datos	SELECCIÓN DE CASOS DE ESTUDIO PORMENORIZADOS
	Térmico	Google earth engine Software Qgis		Temperatura superficial de la tierra LST	Normalización de variables por cerro	
	Morfología urbana	Instrumentos de ordenación territorial Planes comunales		Contexto urbano, cobertura de suelo adyacente distancia a áreas urbanas, densidad urbana.	1. Porcentaje total de superficie 2. Cobertura vegetal 3. NDVI 4. Morfología urbna 5. Nivel socioeconómico	
	Características físicas del cerro	Sistema de información geográfica Revisión documental Sentinel browser		Usos de suelo dentro del cerro, parte de PRMS Elevación , superficie, cobertura vegetal, tipo de estratos, NDVI, permeabilidad de suelo.	Escala 1,0 a 3,0 Poca capacidad: entre 1,0 y 1,5 Mediana capacidad: entre 1,6 y 2,0 Alta capacidad: Puntuaciones mayores a 2,0	
	Socioespacial	OCUC, Observatorio de ciudades UC Caracterización socioeconómica nacional CASEN		Grado de vulnerabilidad en base a nivel socioeconómico.		
Casos de estudio pormenorizado	Análisis comparativo Variables del efecto de enfriamiento	NDVI Índice de ocupación de suelo Superficie LST	Caso 1 : Cerro Hasbún/ Santa Lucía Similares características físicas, diferente contexto urbano. Caso 2: Cerro Renca / San Cristóbal Diferentes características físicas, similar contexto urbano.	Metodología buffer 500 metros Metodología transectos	RESULTADOS	RECOMENDACIONES DE PLNIFICACIÓN URBANA

Tabla 11. Diseño metodológico, elaboración propia

8. Metodología

8.1 Caso de estudio general

El Gran Santiago, núcleo urbano principal dentro de la Región Metropolitana (RM), la cual se asienta en la falda occidental de la cordillera de los Andes, se encuentra rodeado por cordones montañosos de altura significativa, lo cual lo constituye como una cuenca confinada cuya condición entorpece la ventilación atmosférica del valle, generando así mayores niveles de contaminación, favoreciendo con ello el aumento de las temperaturas (GORE, 2017). Hidrológicamente, la ciudad de Santiago se encuentra atravesada de este a oeste por el río Mapocho; por el sur se encuentra atravesada por el río Maipo. Ambos finalmente desembocan en el mar, cerca de la ciudad de San Antonio (figura 22). La acción erosiva de cursos de agua depositó la carga sedimentaria de la cordillera en zonas más bajas, modelando así el valle, dejando a los CI como vestigios de borde de cordillera (figuras 23, 24) que no fueron lo suficientemente desgastados por la acción erosiva del clima (Fundación Cerros Isla, 2017, p.45). El clima, de carácter mediterráneo, se caracteriza por presentar estaciones marcadas y precipitaciones en período invernal, lo cual hace de la ciudad un muy buen lugar para asentarse, siendo la capital de Chile un territorio que concentra más del 40% de la población total del país, duplicando su superficie entre los años 1980 y 2010 (Smith et al., 2016).

Lo anteriormente expuesto le ha significado al Gran Santiago cambios significativos a lo largo de su historia, donde los CI han sido enclaves cruciales en la configuración del territorio. Su integración en un marco de planificación urbana ocurre a fines del siglo XIX, cuando el intendente Benjamín Vicuña Mackenna expone su Plan de Transformación de Santiago, considerando al cerro-plaza del Santa Lucía (figura 25), reconociendo entonces la modalidad de hacer ciudad desde el paisaje (Mashini, 2014). En el año 1934, durante el desarrollo del plan Brunner, únicamente el Cerro Santa Lucía y Cerro Blanco se encontraban dentro de la ciudad, siendo los cerros Santa Lucía, San Cristóbal y Blanco categorizados como “área verde” (figura 26).

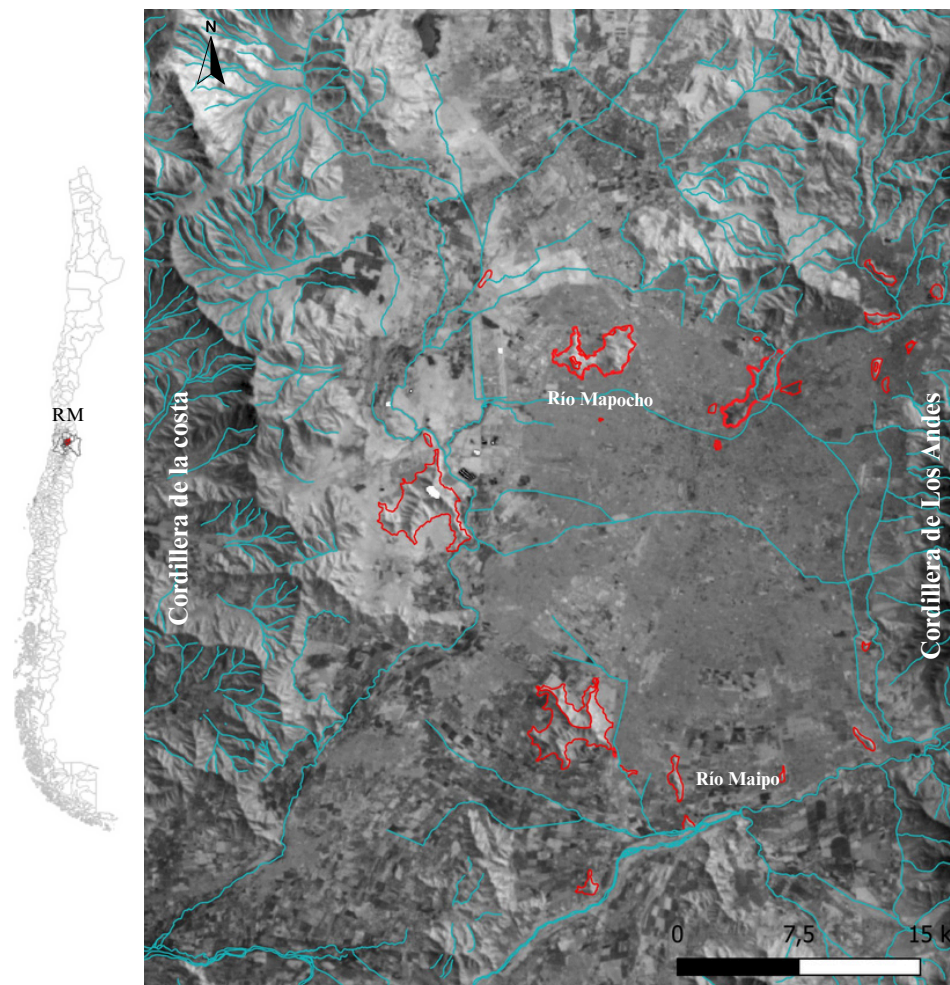


Figura 22. Hidrografía de Santiago, elaboración propia



Figura 23. Relación CI y cordillera de los Andes, fuente: *Parque observatorio cerro Calán.*

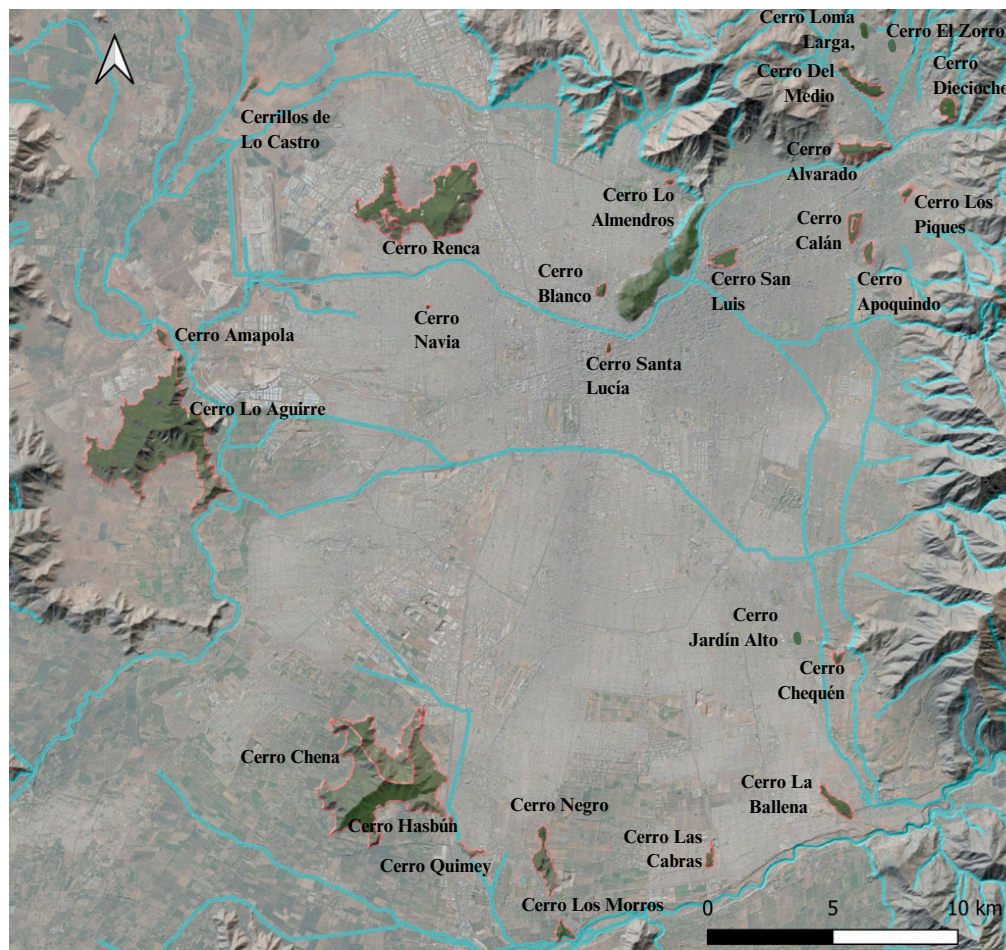


Figura 24. CI dentro del Gran Santiago, fuente: Elaboración propia

Cerros isla	Superficie ha	Contexto	Cerros isla	Superficie ha	Contexto
Cerrillos De Lo Castro	19	Rural	Jardín Alto	65	Urbano
Renca	838	Urbano	Santa Lucía	7,2	Urbano
Lo Aguirre	1744	Urbano-Rural	Blanco	18	Urbano
Amapola	71	Rural	Los Almendros	5,6	Urbano-Rural
Navia	2,7	Urbano	San Luis	12,8	Urbano
Chena	1390	Urbano-Rural	Calán	56	Urbano
Hasbún	7	Urbano	Apoquindo	64	Urbano
Quimey	21,1	Urbano	Los Piques	33	Urbano
Los Morros	30,1	Urbano-Rural	Alvarado	230	Urbano
Negro	125	Urbano-Rural	Dieciocho	122	Urbano
Las Cabras	21	Urbano-Rural	Del Medio	113	Urbano
La Ballena	69	Urbano-Rural	Loma Larga	13,7	Urbano-Rural
Chequén	67	Urbano-Rural	El Zorro	11,9	Urbano-Rural

Tabla 12. CI del gran Santiago y superficies, Elaboración propia.

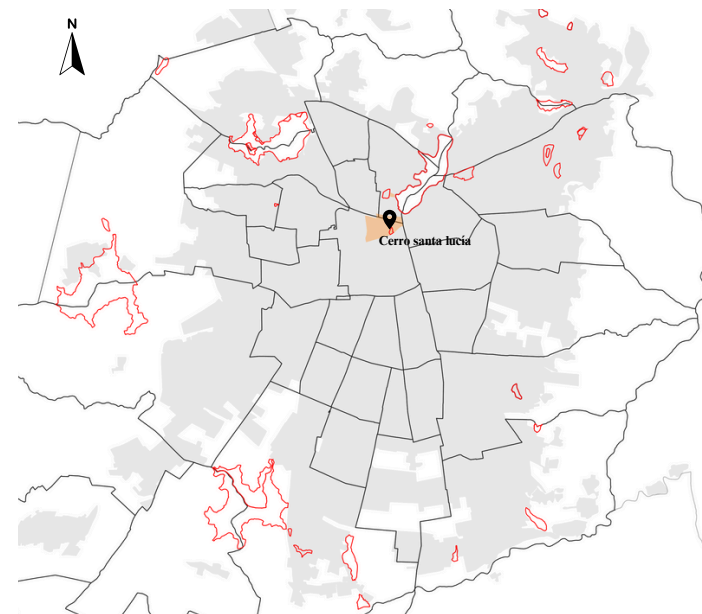


Figura 25. Cerro parque Santa Lucía y mancha urbana, elaboración propia en base a Qgis.

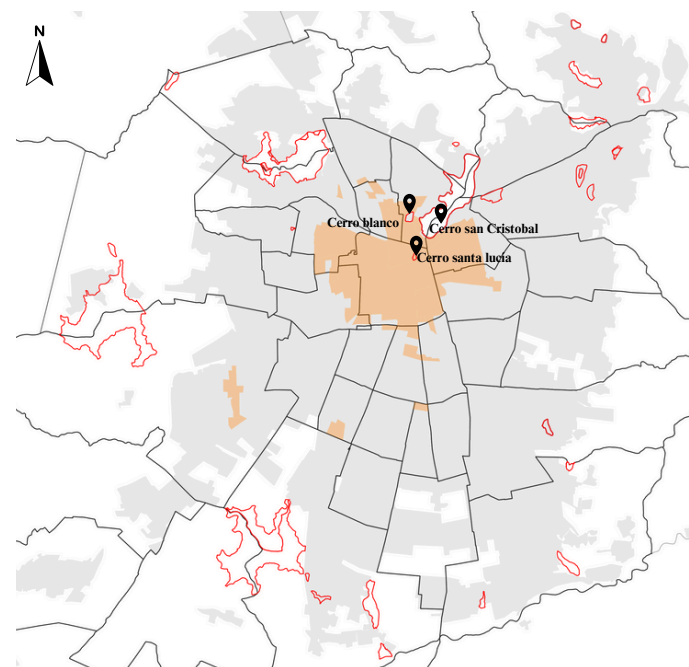


Figura 26. CI como área verde y mancha urbana 1934, elaboración propia

El expansivo crecimiento generado entre la década del 1930 y 1952 provocó transformaciones en la ciudad debido a la falta de planificación, donde emerge la periferia urbana. En dicho escenario, todos aquellos CI que no fueron reconocidos como área verde en el plan del 1934 quedaron a disposición de la ocupación de terrenos privados; aumenta entonces la ciudad más rápido que la implementación de infraestructuras verdes (Rivera et al., 2023).

En el año 1953, se promulga la “*Ley de planificación urbana y de construcción*”, la cual estableció la obligación de los municipios de contar con un “*plan regulador*”, instrumento de ordenación territorial para orientar el crecimiento de cada municipio. En el año 1960, surge el PRIS (Plan regulador intercomunal de Santiago), instrumento cuyo objetivo consistía en iniciar las bases de un Gobierno Metropolitano (Rivera et al., 2023). El plan crea un sistema coordinado de espacios verdes de uso público, destinados al esparcimiento de la población y al saneamiento ambiental. Esta red coordinada integraba conceptos de los espacios verdes ubicados en el área urbana y/o rural, estableciendo una tipología (Tabla 13).

Categoría	Descripción
Áreas verdes	Áreas verdes de uso público para el esparcimiento y saneamiento ambiental, donde no se permiten construcciones, salvo aquellas que complementen las funciones de estas áreas
Avenidas parques	Vías con una o dos calzadas para tránsito lento, rodeadas por franjas verdes con arboledas y jardines, conectando parques comunales con áreas especiales o caminos turísticos.
Áreas especiales	Áreas verdes públicas o privadas de uso controlado , como áreas deportivas, parques privados o de interés histórico y cultural.
Parques intercomunales	Áreas verdes con instalaciones para reuniones, deportes y otros usos, distribuidas en cuadrantes urbanos con superficies entre 30 y 100 hectáreas, sumando 852 hectáreas.
Parques comunales	Áreas verdes de 8 a 15 hectáreas, sirviendo a una comuna o más, situadas en barrios populosos, a veces sitios eriazos, con características similares a los parques intercomunales

Tabla 13: Tipologías de área verde en el PRIS 1960, elaboración propia en base a Rivera (2023).

En el contexto de la planificación rural y con un enfoque centrado en la preservación ecológica y ambiental, se introdujeron tres conceptos de "Reservas" que cubren amplias áreas fuera del límite urbano. El Plan Intercomunal del 60 estableció regulaciones específicas para comunas periféricas de Santiago, contemplando territorios *buffer* que funcionarían como amplias reservas naturales que cada municipio debería proteger y conservar (Tabla 14).

Concepto	Descripción
Reservas forestales rurales	Áreas rurales cercanas a la ciudad destinadas a la plantación de árboles y matorrales, en su mayoría especies que se adapten a las condiciones naturales del terreno.
Reservas agrícolas y forestales suburbanas	Zonas que incluyen terrenos agrícolas y ganaderos que mantendrán su uso actual, con áreas también dedicadas a la conservación de reservas forestales.
Medidas para la protección de los corredores ecológicos y biológicos	Iniciativas de nivel intercomunal para salvaguardar y proteger los corredores ecológicos y biológicos, esenciales para la conectividad entre ecosistemas.

Tabla 14: Tipologías de reserva en el PRIS 1960, elaboración propia en base a Rivera (2023).

Estos buffers estarían destinados preferentemente a usos agrícolas, forestales y de conservación natural (como cauces de ríos y quebradas), configurando un sistema interconectado de espacios o cinturones verdes entre las zonas urbanas y rurales (Figura 27), cuyo rol fundamental era el de evitar la dispersión urbana (Riviera et al., 2023).

En el año 1979, la política nacional de desarrollo urbano inicia un cambio debido a la pérdida de herramientas de planificación del ordenamiento territorial producidas en dictadura, donde se inicia un proceso de planificación de corte desarrollista, siendo el mercado quien marca la pauta de crecimiento, mientras que la administración sigue sus pasos. Como consecuencia, el límite urbano se expande considerablemente, incorporando entonces a comunas antes periféricas.

El plan regulador metropolitano de Santiago del 1994 (PRMS 1994) propone un sistema de áreas verdes interconectado, donde los CI forman parte, con una función propia de servicios de recreación y no de valores ecológicos (Mashini, 2014), lo cual potencia la fragmentación de los mismos, al no responder a una planificación urbana ecológica, quedando en evidencia la dispersión normativa sobre estos enclaves y las mismas contradicciones en las diferentes escalas de los instrumentos de planificación territorial (Figuras 28, 29).



Figura 27. Plan regulador 1960, fuente : Los Primeros Planes Intercomunales Metropolitanos de Chile, Volumen I, Rivera (2023).

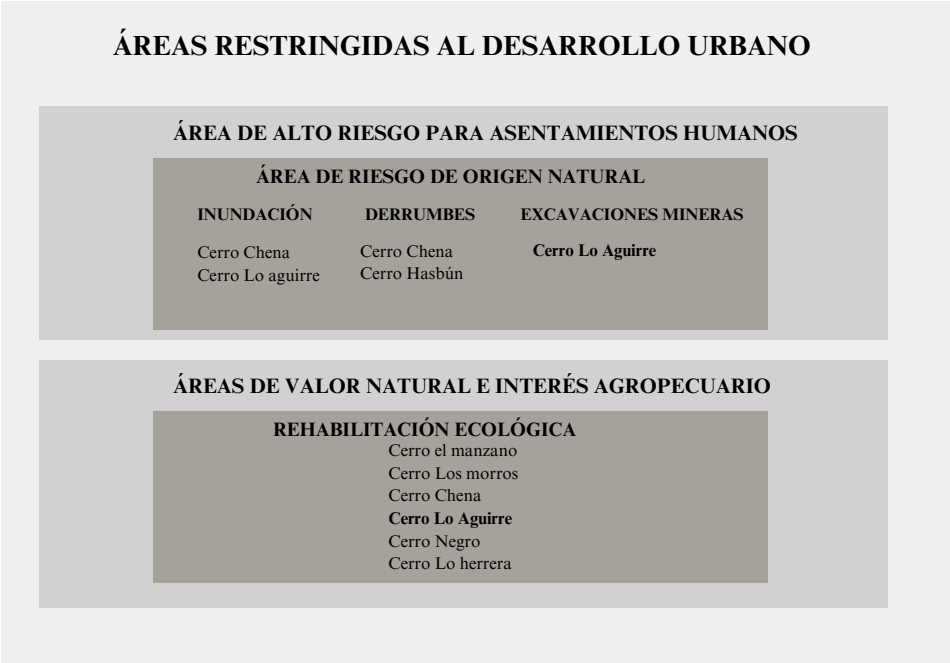


Figura 28. Normativa CI de Santiago, PRMS 1994, elaboración propia en base a Mashini (2014).



Figura 29. Normativa CI de Santiago, PRMS 1994, elaboración propia en base a Mashini (2014).

8.1.1 Los CI dentro de la ordenación territorial

En la actualidad, el Gran Santiago se ordena dentro de los límites del PRMS (Plan Regulador Metropolitano de Santiago), instrumento que regula el crecimiento urbano y define las áreas de expansión, conservación y protección (figura 30). Sin embargo, existen herramientas de ordenación de nivel intermedio como el PRC (Plan Regulador Comunal) que posee cada una de las 32 comunas que forman parte del núcleo del Gran Santiago dentro de la Región Metropolitana (figura 31), donde se establecen normas específicas de uso de suelo, densidades y condiciones urbanísticas, lo cual genera una dispersión normativa que lleva a contradicciones entre lo que plantean los instrumentos de ordenación territorial en sus diversas escalas respecto de los CI (Tabla 15) , dificultando así la posibilidad de materializar una planificación ecológica integral donde estos enclaves sean funcionales y se constituyan como nodos en el marco de una infraestructura verde.

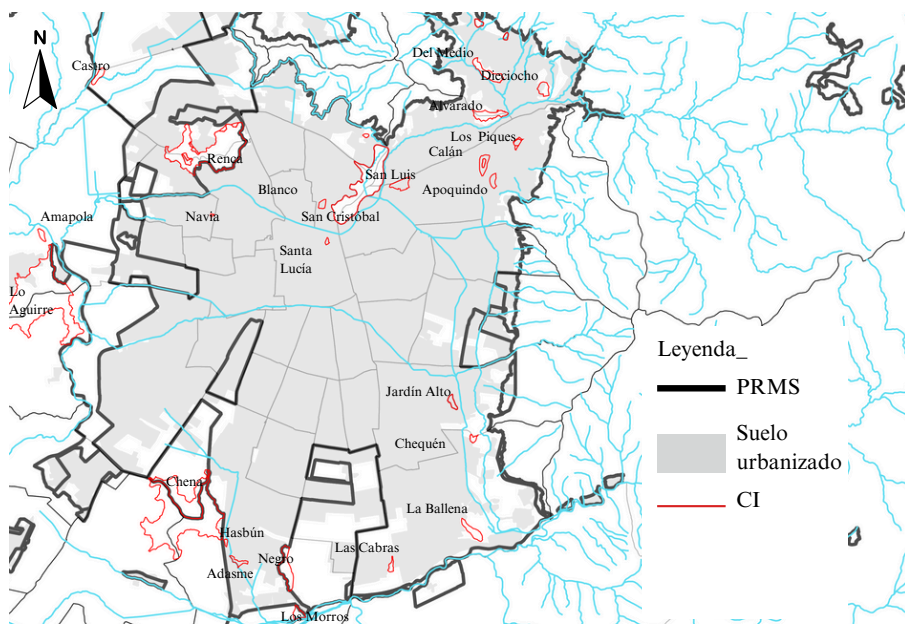


Figura 30: Límite urbano PRMS, elaboración propia.

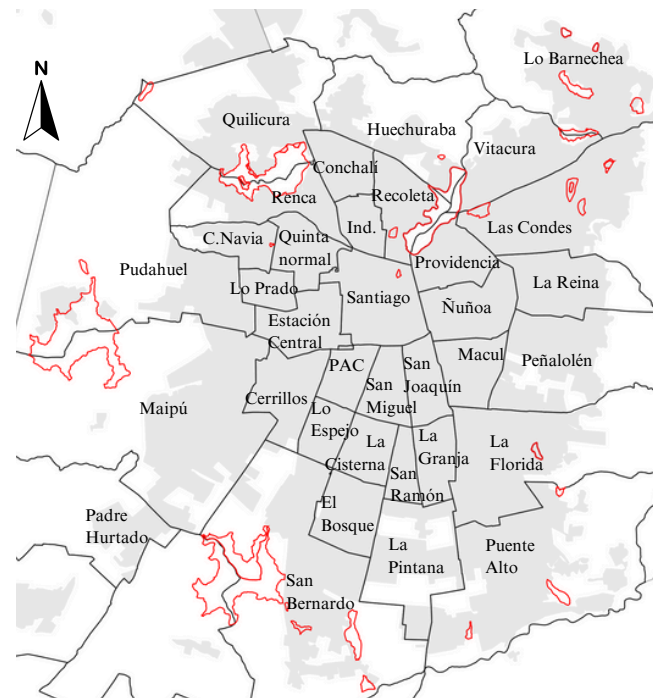


Figura 31. Comunas que componen el Gran Santiago, elaboración propia.

Además de encontrarse incongruencias entre lo expresado en los PRC y el PRMS, la distribución de los recursos para cada municipio se materializa a través de sus ingresos propios, generados a través de patentes, contribuciones de bienes raíces y permisos municipales o subvenciones, lo cual da pie a la desigualdad socioespacial estructural al concentrarse los recursos en pocas comunas (figura 32). Ello se traduce en disparidad de equipamiento, servicios y acceso a más y mejores áreas verdes, siendo los territorios con menor cobertura vegetal ocupados por grupos socioeconómicos más vulnerables (Tabla 16), emplazados en densidades poblacionales extremadamente altas (Vásquez et al., 2007).

MARCO NORMATIVO REGIONAL Y COMUNAL DE CI EN EL GRAN SANTIAGO		
CERROS	PRMS	PRC
Los Morros	Área de rehabilitación ecológica	Área de rehabilitación ecológica
Los Piques	Parque intercomunal , CI	Área de parque intercomunal
Navia	Parque intercomunal , CI	Área verde
Negro	Área de rehabilitación ecológica	Área de rehabilitación ecológica
Negro	Sujeto a información	CI y área verde
Renca	Parque Metropolitano	Normativa parque metropolitano
San Cristóbal	Parque Metropolitano	Normativa parque metropolitano
San Luis	Sujeto a información	Equipamiento deportivo, vivienda.
Santa Lucía	Parque intercomunal , CI	Área verde existente
Loma Larga	Sujeto a información	CI, residencial, área verde.
Los Almendros	Parque intercomunal , CI	Parque y CI
Lo Aguirre	Excavaciones, labores mineras Área de rehabilitación ecológica Área de protección ecológica	Área de rehabilitación ecológica
Hasbún	Derrumbe, asentamiento de suelo	Zona de CI y áreas verdes
Las Cabras	Parque intercomunal, CI derrumbes y asentamiento de suelo	CI, riesgo de derrumbe, residencial y equipamiento
La Ballena	Parque intercomunal, CI	CI
Jardín Alto	Parque intercomunal, CI	CI, vivienda y equipamiento vecinal
El Zorro/ El Manzano	Sujeto a información	CI, residencial
Dieciocho	Parque intercomunal, CI (fracción)	Equipamiento, residencial, áreas verdes
Del Medio	Parque intercomunal, CI (fracción)	CI, residencial
Chequén	Parque intercomunal, CI	CI, área verde
Chena	Área de rehabilitación ecológica Área de derrumbes y asentamiento de suelo	Área de rehabilitación ecológica
Calán	Parque intercomunal, CI (fracción)	Área de equipamiento comunal e intercomunal, área de parque intercomunal, vivienda
Blanco	CI, Área verde	Ley de monumentos nacionales
Apoquindo	Parque intercomunal, CI (fracción)	Área parque intercomunal, vivienda
Amapola	Parque Metropolitano	
Alvarado	Parque Intercomunal, CI	CI, residencial, AV, residencial

Tabla 15. Normativa sobre los CI, PRMS- PRC, Elaboración propia

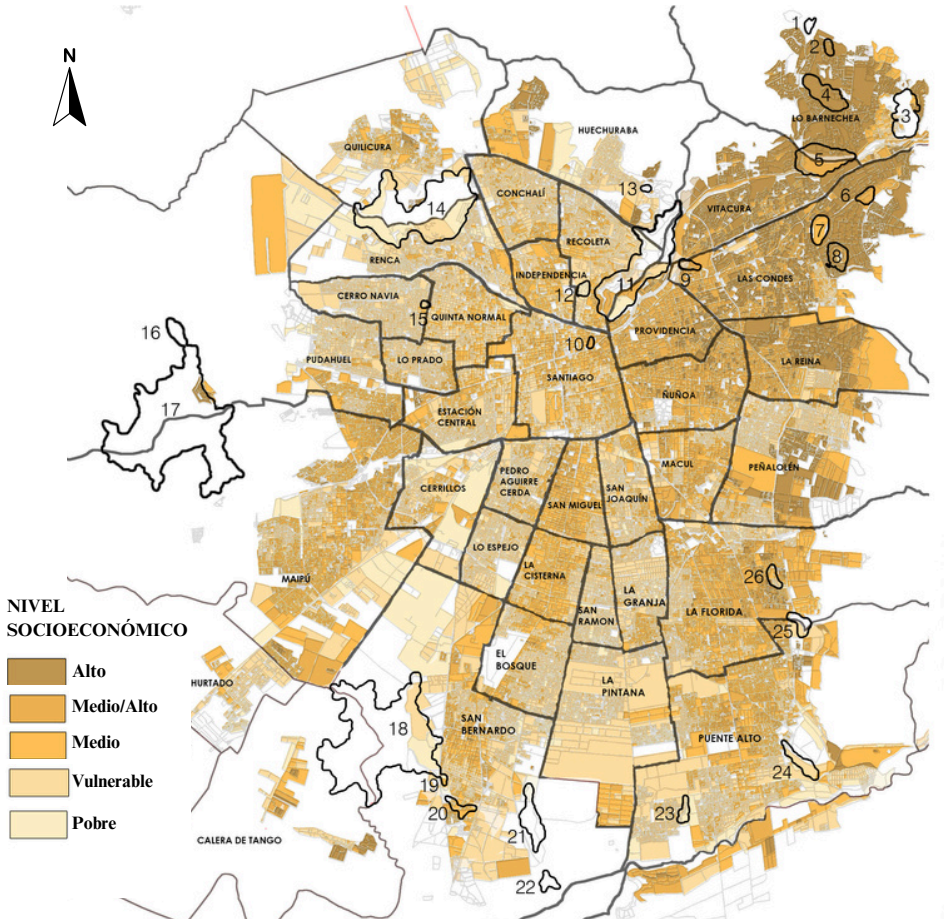


Figura 32. Distribución socioeconómica por comunas, elaboración propia en base a fundación cerros isla OGUC

GSE (Grupo socio económico)	Ingreso medio mensual familiar (USD)	Persona por familia	Ingreso equivalente per cápita mensual (USD)
AB (Alta)	7,719,963	2,3	3.356,506
C1a (media alta)	3,285,517	2.5	1,314,207
C1b (media emergente)	2,186,210	2.7	809,707
C2 (media típica)	1,455,247	2.7	538,980
C3 (media baja)	915,135	2.8	326,834
D (Vulnerable)	519,117	3.0	173,039
E (Pobreza extrema)	271,010	3.4	79,709

Tabla 16. Estratos socioeconómicos, elaboración propia en base a Faro UDD, CASEN 2022.

En relación a lo mencionado, un estudio de la *Corporación Ciudades* refuerza la idea de justicia climática, al identificar la temperatura superficial promedio de las unidades vecinales del Gran Santiago (organizaciones vecinales de escala local). Los resultados del estudio concluyen que Cerrillos, Cerro Navia, Conchalí, Lo Espejo, Pedro Aguirre Cerda, Quilicura y San Ramón presentaron el 100% de sus unidades vecinales con temperaturas por sobre el promedio dentro del verano con mayor cantidad de olas de calor (2019-2020) de los últimos 10 años (figura 33). Todas comunas que, como puede verse, concentran niveles socioeconómicos de vulnerabilidad, pobreza y menor cobertura de vegetación respecto del continuo de construcciones urbanas (figura 34). Todo ello supondría una menor capacidad de resiliencia ante fenómenos climáticos extremos.

En este contexto, surge la necesidad de identificar estrategias que vayan en la línea de revertir esta tendencia y por ello se ve en los CI una oportunidad de contribuir a la reducción de temperatura superficial de la tierra y constituirse como potenciales refugios climáticos dentro del Gran Santiago.

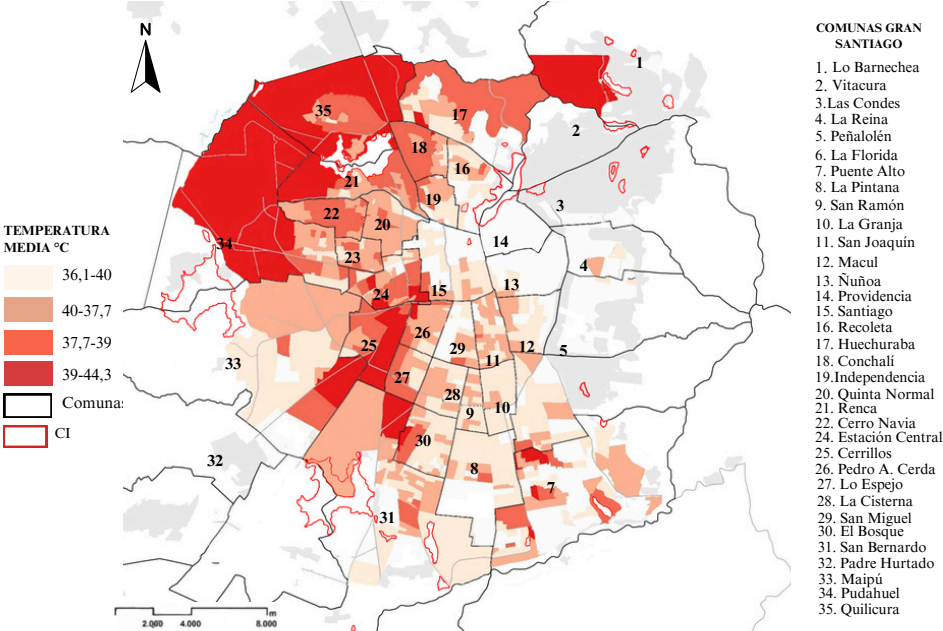


Figura33. Mapa de unidades vecinales de Santiago y sus temperaturas medias, fuente: Corporación ciudades.

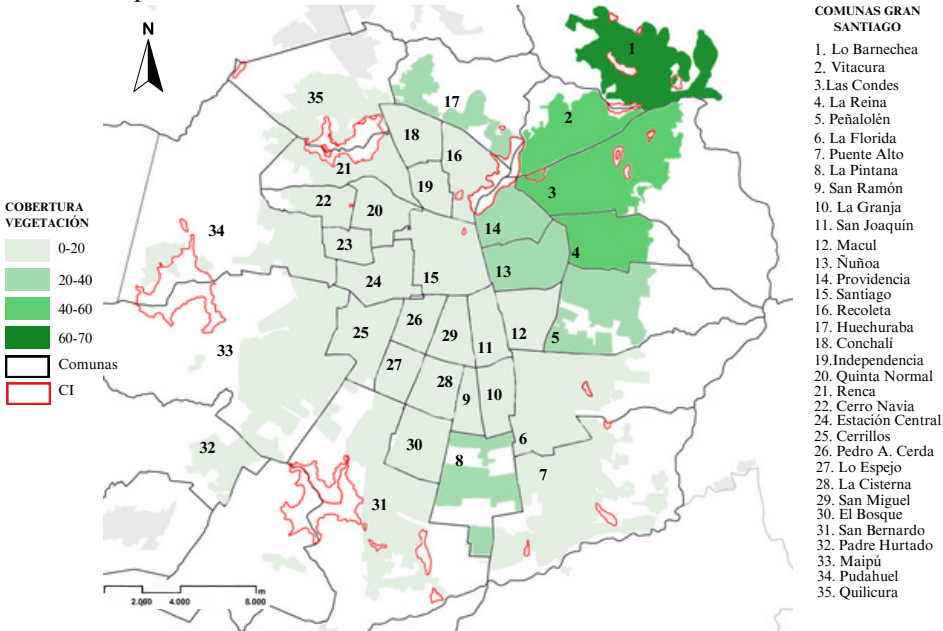


Figura 34: Cobertura de vegetación respecto del continuo de construcciones urbanas, elaboración propia en base a *Corporación ciudades*.

8.2 Casos pormenorizados

8.2.1 Caso 1 , Cerro Hasbún - Cerro Santa Lucía

El primer caso de estudio se centra en comparar la capacidad de enfriamiento de los cerros Hasbún y Santa Lucía. Ambos enclaves de similares superficies y cobertura vegetal enfrentan contextos urbanos de diferentes características.

Cerro Hasbún se encuentra dentro de la comuna de San Bernardo, en un contexto de borde urbano-rural (Figura 30). Los usos de suelo correspondientes establecidos en PRC de San Bernardo identifican a este enclave como “zona de CI y área verde”, y el entorno urbano que enfrenta es definido por la ordenanza local como ZU9 (Zona de equipamiento), donde se define un espacio urbano con baja densidad edificatoria, edificaciones aisladas y con restricciones de ocupación de suelo. Se prioriza el desarrollo de equipamientos y actividades productivas de bajo impacto ambiental, manteniendo espacios libres, áreas verdes y separación entre construcciones, lo que contribuye a un perfil urbano de baja concentración y mayor permeabilidad espacial. Sin embargo, dentro de los usos permitidos, se encuentra el de “*terminales de transporte colectivo*”, lo cual implica un tratamiento en la superficie que va en sentido contrario, al implicar la impermeabilización del suelo que enfrenta dicho enclave, incrementando con esto su condición de insularidad en el contexto urbano. Al norte existe una planta de prefabricados de hormigón, al sur existe una zona de estacionamientos para buses y al oriente se encuentra cercado por la delimitación del canal Lo Espejo.

En el sector poniente del enclave no hay una definición de suelo asignada; hacia el sector oriente se encuentra la categoría de ZU2 (Periferia centro), donde se establece una densidad de construcciones media-alta, permitiendo hasta 350 habitantes por hectárea con un 10% de cada predio terreno destinado a vegetación. Hacia el mismo sector, se encuentra también la zona ZU1.3 (Sur Nogales), la cual permite una densidad urbana de hasta 600 habitantes por hectárea, promoviendo la maximización del uso de suelo (Figura 35).

La ubicación de este cerro es considerada estratégica al estar estrechamente vinculado a otros CI (Figura 36) y conectado por una red de canales, por lo que la fundación Cerros Isla, en conjunto con la Pontificia Universidad

Católica de Chile, han llamado al concurso “*Concurso de ideas Cerros Isla para el corredor verde de San Bernardo, Chile*”, reconociendo la relevancia de estos enclaves dentro de la planificación ecológica y con ello su potencial de brindar servicios ecosistémicos, entre ellos el de regulación.

Respecto de las características físicas del enclave en sí mismo, este posee una superficie total de 10 hectáreas, las cuales presentan una cobertura vegetal de alrededor de 83% (Pontificia Universidad Católica de Chile, sf.), una buena cobertura vegetal en relación con otros cerros de la capital.



Figura 35: Cerro Hasbún dentro de la normativa, fuente: *Atlas de los cerros isla*.



Figura 36: Relaciones ecológicas entre CI de San Bernardo, elaboración propia.

El Cerro Santa Lucía, ubicado en la comuna de Santiago, en la zona centro de la capital (figura 31), dentro de un contexto urbano, se emplaza en lo que la ordenanza local del plan regulador de Santiago define como “Zona A”, la cual está principalmente orientada a usos residenciales, comerciales y de equipamiento con restricciones en actividades que generan alto impacto ambiental o urbano. Se promueve un desarrollo mixto con control en los usos industriales, comerciales de alto flujo y de recreación masiva. La densidad constructiva es alta y de agrupamiento continuo, favoreciendo a una tipología de ciudad compacta y altamente edificada. El enclave en sí mismo es uno de los pocos CI considerado en la normativa del PRC como zona F-pql zona de parque intercomunal, siendo un particular atractivo turístico para la comuna de Santiago (figura 37). Respecto de las características físicas del enclave, este posee una superficie total de 7 hectáreas, las cuales poseen una cobertura vegetal de alrededor de 90%. (Pontificia Universidad Católica de Chile, sf.) dada su condición de parque urbano.

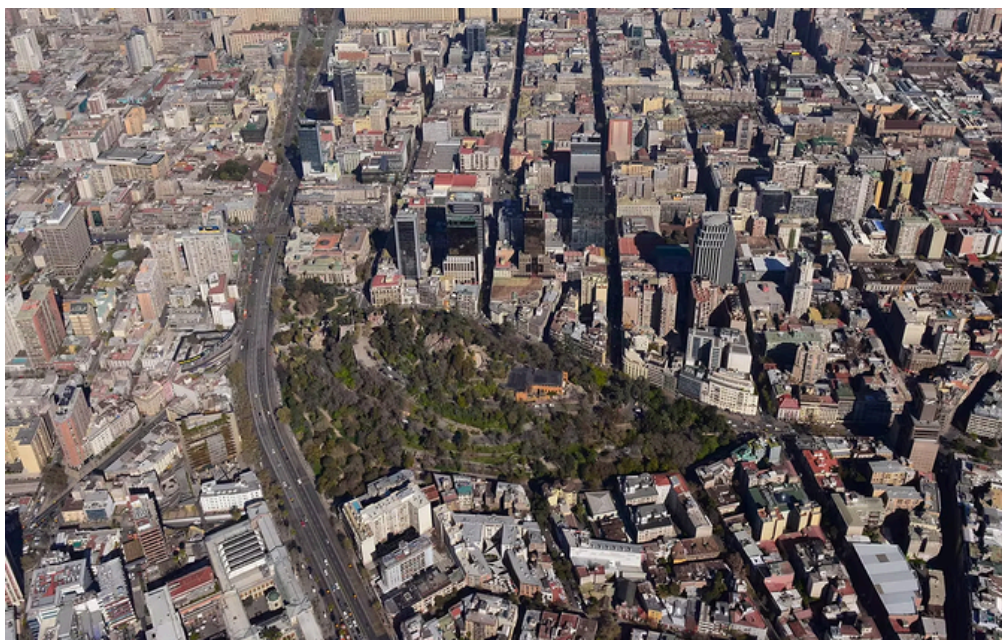


Imagen 02. Cerro Santa Lucía, fuente: Fundación Cerros Isla (2017).

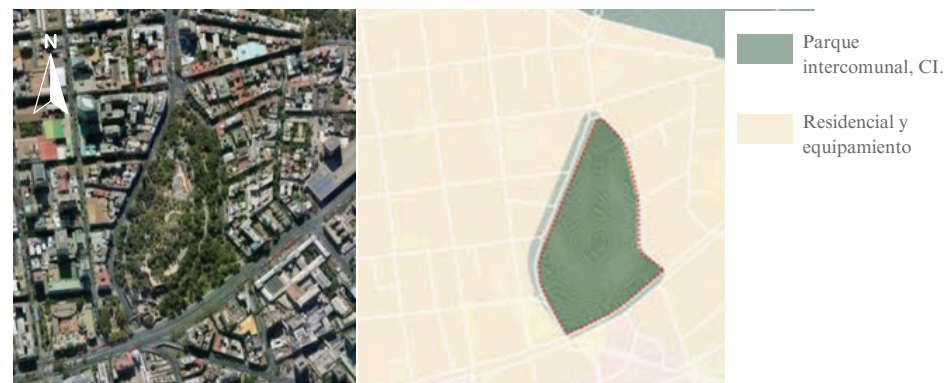


Figura 37. Cerro Santa Lucía dentro de la normativa, fuente: *Atlas de los cerros isla*.

Su ubicación dentro de la ciudad es estratégica al encontrarse a solo algunas cuadras de distancia del Parque Forestal y el Parque San Borja (Figura 38). Ambos elementos son importantes dentro de la infraestructura verde que posee la capital.



Figura 38. Cerro Santa Lucía en su contexto urbano, elaboración propia.

8.2.2 Caso 2 , Cerro San Cristóbal / Renca

El segundo caso de estudio se centra en comparar la capacidad de enfriamiento de los cerros San Cristóbal y Renca, puesto que ambos cumplen con la condición de ser enclaves de gran superficie, y se emplazan en contextos urbanos de alta densidad; sin embargo, su estado de conservación es diferente, por cobertura vegetal y NDVI.

Cerro San Cristóbal se emplaza en el sector nororiente de la capital (figura 30); su extensa superficie hace que este enclave se divida en territorio de cuatro comunas diferentes: Huechuraba, Recoleta, Providencia, Vitacura, donde, como ya se ha visto, cada una de estas comunas responde a una normativa propia, por lo que el contexto urbano que enfrenta este enclave es bastante disperso en uso de suelo (Figura 39). No obstante, las cuatro comunas reconocen este enclave bajo la figura de Parque Metropolitano, un concepto que, al igual que cerro Santa Lucía, asigna a este enclave la característica de consolidarse como un espacio recreativo dentro de la ciudad.

El borde sur del cerro, ubicado en la comuna de Providencia, según ordenanza local, plantea el uso residencial y de equipamiento restringido; la ladera sur del cerro, ubicada en la comuna de Vitacura, concentra usos principalmente destinados a vivienda, comercio y áreas verdes complementarias. Hacia la ladera norte, la comuna de Huechuraba se encuentra en una zona residencial de muy baja densidad y, por otra parte de la ladera norte, la comuna de Recoleta plantea una zona de restricción no edificable definida como ZR1 asociada a riesgos geofísicos de remoción de masas, además de UE-1 destinado a viviendas y equipamiento de alta densidad (figura 39). Respecto de sus características físicas, el enclave posee una superficie de 715 hectáreas, y se consolida como uno de los parques urbanos más grandes del mundo; posee una cobertura vegetal de alrededor del 60% (Pontificia Universidad Católica de Chile, sf). El cerro posee la particularidad de vincularse estrechamente a la cordillera de Los Andes y a otro CI llamado Cerro Blanco (Figura 40).



Figura 39. Cerro San Cristóbal dentro de la normativa, fuente: *Atlas de los cerros isla*

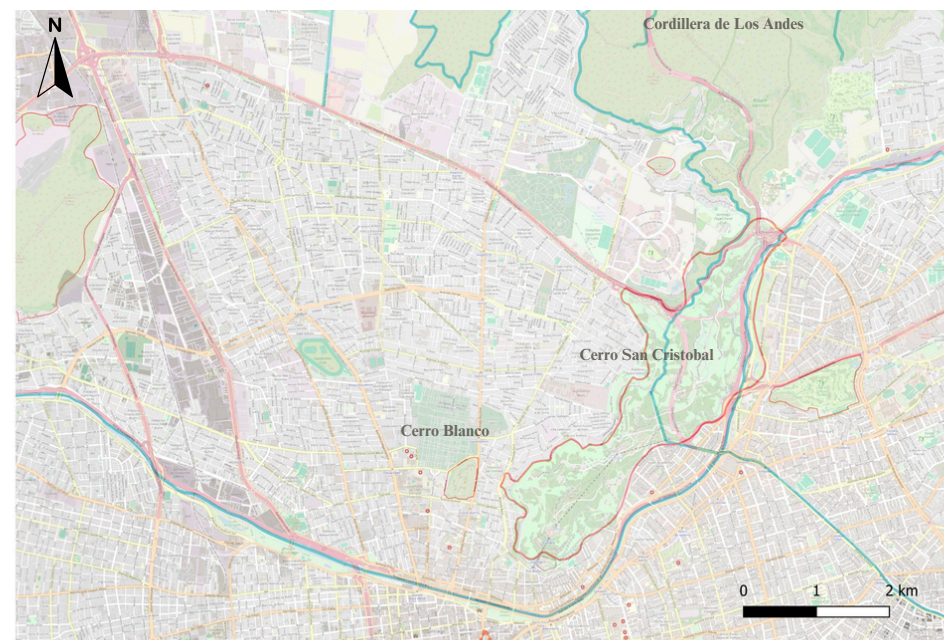


Figura 40. Cerro San Cristóbal y sus vínculos ecológicos, elaboración propia.

El cerro de Renca se emplaza en el sector norponiente de la capital (figura 30); su extensa superficie hace que este enclave se divida en territorio de dos comunas diferentes, una de ellas es la comuna de Renca y otra es la comuna de Quilicura (figura 41). La ladera norte del cerro enfrenta suelos destinados como área industrial exclusiva, determinados por el Plan Regulador Metropolitano de Santiago, lo cual debe ser respetado por el plan regulador comunal de Quilicura, y comparte zonificación con zona habitacional mixta de baja densidad, con edificaciones aisladas. La ladera sur, correspondiente a la comuna de Renca, enfrenta una zona habitacional mixta, de alta densidad, con mezcla de viviendas formales e informales. En relación a la normativa del enclave en sí mismo, el PRMS lo considera como Parque Metropolitano y parte de un sistema de áreas verdes y recreación, por lo que ambas comunas reconocen dentro de sus PRC su categoría (Figura 41).

Respecto de las características físicas del enclave, cuenta con una superficie total de 869 hectáreas y una cobertura vegetal de alrededor del 20% (Pontificia Universidad Católica de Chile, sf.). Su estado de degradación es evidente; únicamente existen praderas estacionales que aportan algo de variedad en su cobertura a lo largo del año.

Respecto de su ubicación dentro de la ciudad y sus potenciales vínculos ecológicos (Figura 42), este enclave se encuentra más aislado, debido a una presión urbana mayor, lo cual evidencia mayormente su condición de isla biogeográfica.



Figura 42. Cerro Renca y sus vínculos ecológicos, elaboración propia.



Figura 41. Cerro Renca dentro de la normativa , fuente: *Atlas de los cerros isla*.

8.3 Obtención de temperatura

8.3.1 Temperatura superficial de la tierra (LST)

Las estimaciones de temperatura superficial de la tierra se están utilizando cada vez más en estudios locales, siendo los satélites Landsat adecuados para estos al ofrecer imágenes de alta resolución; sin embargo, generalmente el almacenamiento de datos puede ser complejo y requerir de un gran poder de cómputo.

Con base en esta limitante, se utiliza la plataforma *Google Earth Engine*, la cual utiliza los servicios de Google para el procesamiento de grandes cantidades de datos de teledetección sin la limitante de un computador propio. El estudio de Ermida et. al (2020) titulado “*Google earth engine open-source code for land surface temperature estimation from the Landsat series*” proporciona un repositorio en Google Earth Engine con el código necesario para desarrollar el cálculo de la temperatura superficial de la tierra a partir de datos Landsat. Este código fue utilizado para el presente análisis, por lo que se editaron los datos de acuerdo a las necesidades del mismo.

Los ajustes del código consisten en definir una región de interés, en este caso Región Metropolitana de Santiago, utilizando el satélite Landsat 9. Para el caso de este análisis, se define un rango de fechas de interés que varía entre el 01-01-2023 y el 01-03-2023 en período estival, y se considera la variable del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para la realización de los cálculos. La colección de imágenes generada a partir de los parámetros de configuración incluye una serie de variables que son esenciales para el cálculo de la temperatura superficial de la tierra, siendo las siguientes:

A) NDVI (Normalized Difference Vegetation Index): Un índice que indica la cantidad y salud de la vegetación, calculado a partir de la luz visible e infrarroja cercana reflejada por la misma. La vegetación sana, absorbe la mayor parte de luz visible que la incide y refleja una gran parte de luz infrarroja cercana; la vegetación menos sana, refleja mas luz visible y menos luz infrarroja cercana. (NASA Earth Observatory, 2000).

El observatorio de la tierra de la NASA explica que la fórmula para obtener el NDVI consiste en una fórmula diferencial, la cual corresponde a la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{\text{Radiación infrarroja cercana (NIR)} - \text{Radiación visible (VIS)}}{\text{Radiación infrarroja cercana (NIR)} + \text{Radiación visible (VIS)}}$$

Los cálculos dados para un píxel otorgan como resultado un número que oscila entre -1 y +1, siendo el valor 0 la ausencia de vegetación.

B) FVC (Fraction of Vegetation Cover): fracción de cobertura vegetal en el área de estudio, esta variable se utiliza para estimar la emisividad superficial en el proceso de cálculo de la LST.

C) TPW (Total Precipitable Water): La cantidad total de vapor de agua en la columna de la atmósfera, que afecta el cálculo de la LST. El código considera esta variable dentro de su cálculo para realizar las correcciones correspondientes en los cálculos.

D) EM (Emisividad): Corresponde a la emisividad de la superficie terrestre, una propiedad física de la superficie que describe su capacidad para emitir energía térmica por radiación en comparación con un cuerpo negro.

D) LST (Land Surface Temperature): La propia temperatura superficial de la tierra calculada, que es el objetivo principal del análisis.

8.3.2 Selección de la imagen

De la colección de imágenes obtenidas en el rango de fechas de búsqueda, se busca la imagen más adecuada para efectos del análisis. Se obtiene una imagen que corresponde al día 27 de febrero de 2023, donde se registra un rango de temperaturas que fluctúan entre 20 grados C y 59 grados Celsius. La imagen seleccionada (figura 43) cumple con la condición de presentar una cobertura de nubes muy baja (0,23%); dentro de sus datos relevantes de la imagen:

ID de la imagen: LANDSAT/LC09/C02/T1_L2/LC09_233083_20230227

Fecha de adquisición: 27 de febrero de 2023

Cobertura de nubes: 0.23% (tanto en la escena total como sobre la tierra).

Tamaño de celda:

Reflectivo: 30 metros.

Térmico: 30 metros.

Temperatura superficial:

Mínima: 149.003418 K

Máxima: 372.999941 K

Calidad de la imagen:

OLI (sensor óptico): 9.

TIRS (sensor térmico): 9.

Dentro de las propiedades de la imagen, en el campo “SCENE_CENTER_TIME”, se observa que la imagen fue adquirida a las 14:33:56 UTC, por lo que se realiza un ajuste al huso horario correspondiente a Santiago de Chile, que es UTC-3 durante el horario de verano.

Dado que a la fecha de adquisición de la imagen la ciudad de Santiago se encontraba en horario de verano, se deben restar tres horas; por lo tanto, la imagen fue adquirida a las 11:33:56 hora local en Santiago de Chile el 27 de febrero de 2023.

Para una mayor comprensión del análisis, se hace una conversión a grados celsius, donde : $^{\circ}C = K - 273.15$

Por lo tanto, los valores máximo y mínimo identificados en la figura, son:

332.89 K $\approx$ 59.74 $^{\circ}$ C

291.36 K $\approx$ 18.21 $^{\circ}$ C

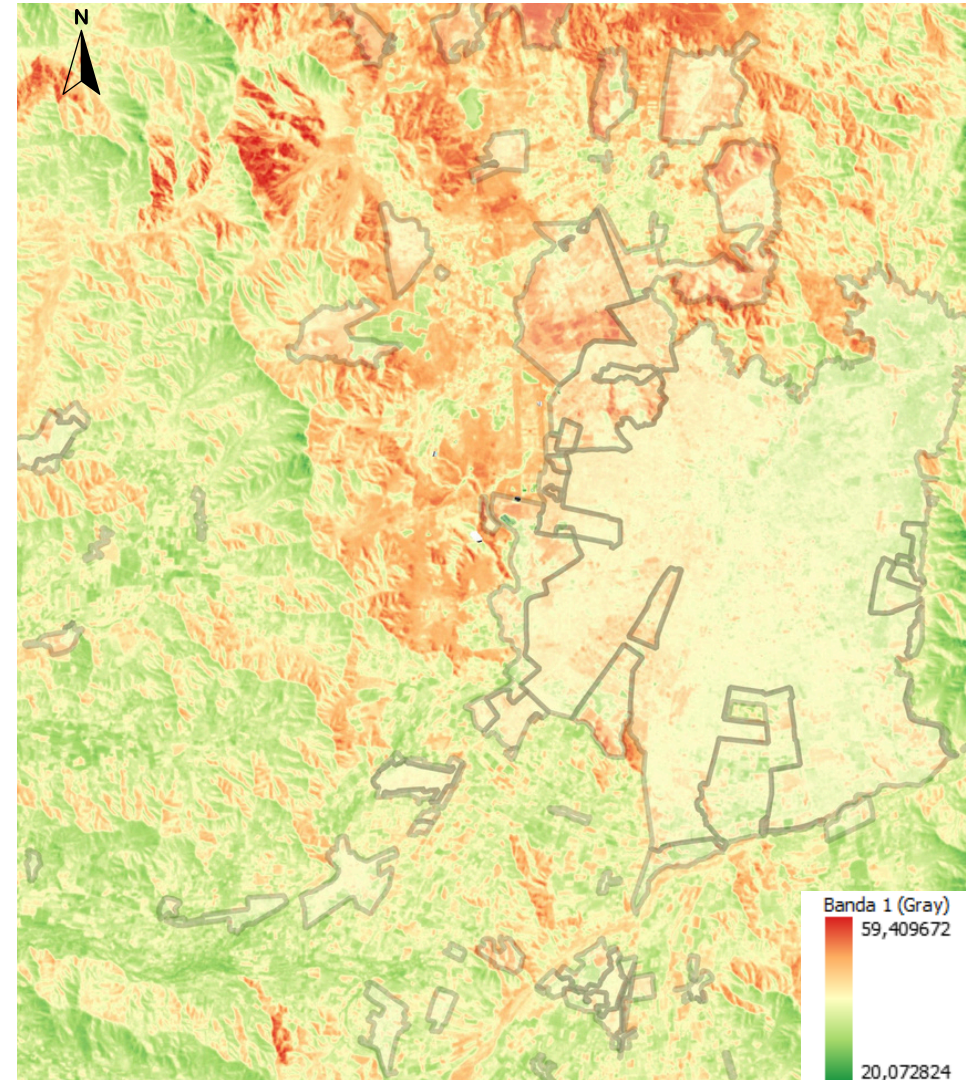


Figura 43. LST de Santiago de Chile, elaboración propia en Google Earth Engine en base a Ermida et al (2020).

8.3.3 Temperatura superficial de la tierra en cada CI

El análisis de la temperatura superficial de los CI es fundamental para evaluar su contribución en la reducción de la temperatura superficial de la tierra. Para procesar la información, se utiliza el software de código abierto Qgis. Sobre los datos ráster de temperatura superficial obtenidos, se desarrollan polígonos vectoriales que delimitan las áreas de cada CI en la ciudad de Santiago en el software Qgis.

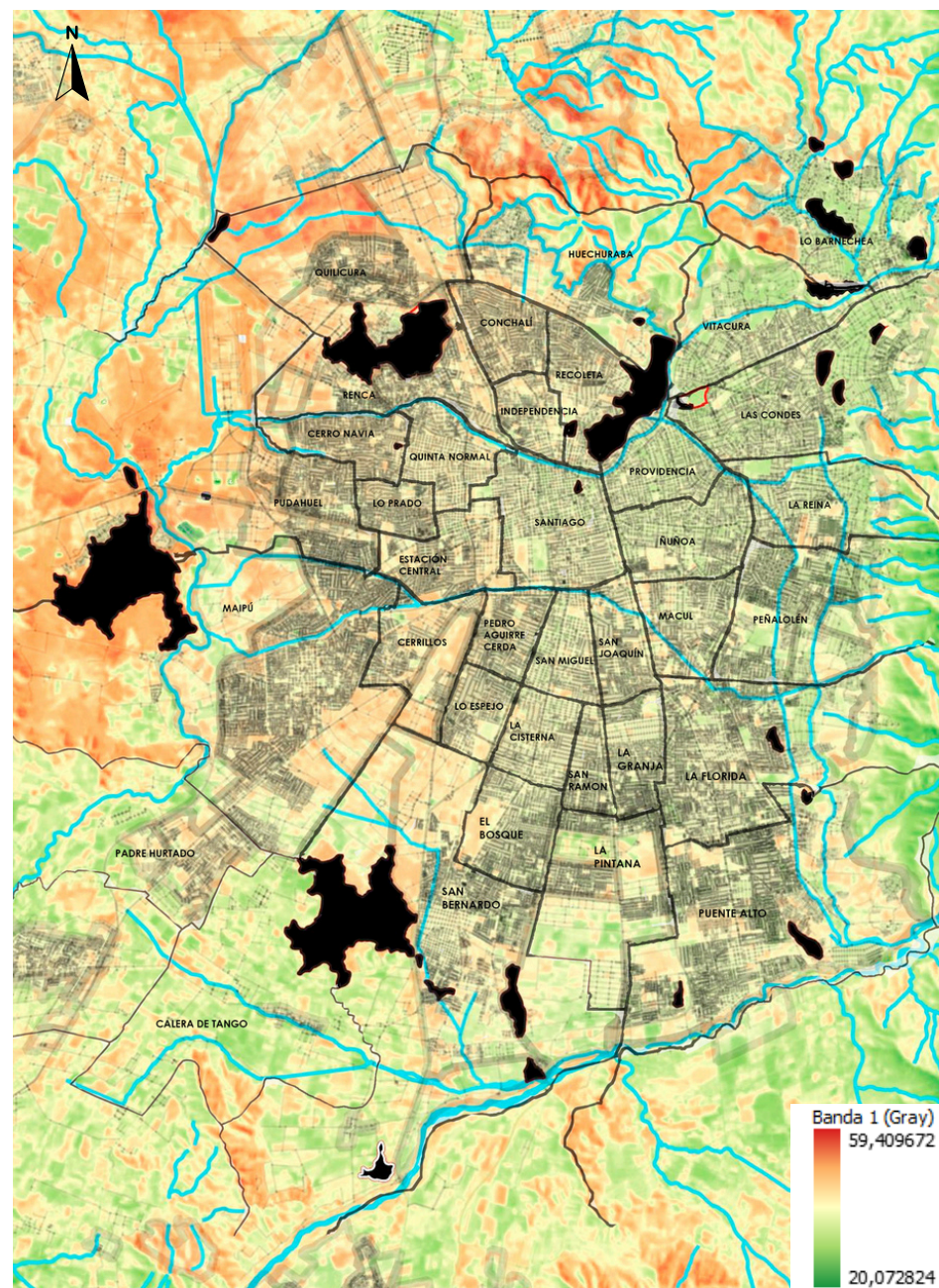


Figura 44. LST CI, elaboración propia Qgis/Google earth engine.

8.4 Morfología urbana

Como respuesta estructural a las desigualdades territoriales resultantes de la liberalización y desregulación del suelo, la imposibilidad de acceso a la vivienda formal ha obligado a muchos a generar mecanismos alternativos para asentarse en los márgenes urbanos, lo cual ha impulsado la segregación socioespacial. Estos asentamientos han absorbido grandes flujos migratorios, lidiando así con el hacinamiento (Alegría, 2024).

Alegría (2024) plantea que las políticas de vivienda social que fueron implementadas en la década del 90 generaron problemas asociados a la ubicación periférica que carecía de servicios e infraestructura adecuados, perpetuando de esta forma la exclusión de los grupos vulnerables. Plantea la división de áreas urbanas, de acuerdo a su arquitectura (edificios) y diseño (calles), dividiéndola en cuatro categorías: Informal, mix informal, mix formal y formal (Tabla 17).

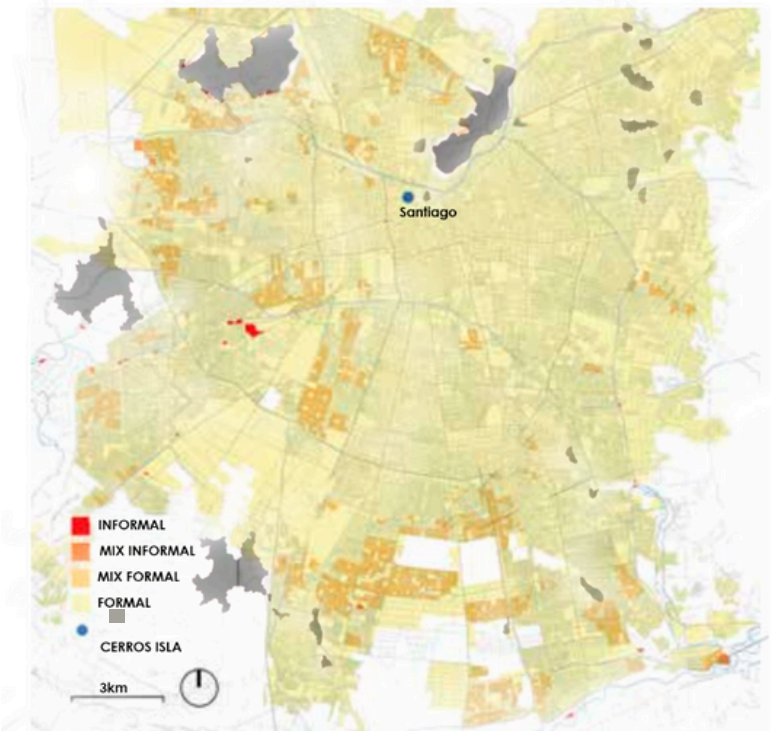


Figura 45. Morfología urbanas en Santiago, fuente: Alegría (2024).

Tipo de morfología	Descripción
Informal	Alta densidad de construcciones, ausencia de lotes y un patrón de calles intrincado.
Mix informal	Mezcla de viviendas formales e informales, con patrones de loteo y calles semirregulares
Mix formal	Barrios de vivienda formal transformados con adiciones incrementales o morfologías irregulares que se han formalizado con el tiempo.
Formal	Urbanización planificada, con arquitectura y calles organizadas y diseñadas formalmente.

Tabla 17. Tipologías de morfología urbana, elaboración propia en base a Alegría (2024).



Figura 46. Referencias de morfología urbana en Santiago, fuente; Alegría (2024).

La comprensión de la morfología urbana es importante para entender su relación con la capacidad de enfriamiento de los CI, entendiendo que el tejido urbano continuo se asocia a mayor temperatura debido a su elevada ocupación de suelo (Figura 49). Las figuras 47 y 48 muestran dos CI emplazados en contextos urbanos diferentes: Cerro Renca en un contexto de informalidad e índices de ocupación de suelo superiores en contraste con Cerro del Medio, que se emplaza en un sector de urbanización planificada, con calles ajardinadas e índices de ocupación de suelo menores.



Figura 47. Cerro Renca, tipología mixta informal, Elaboración propia.



Figura 48. Cerro del medio, tipología formal, elaboración propia.

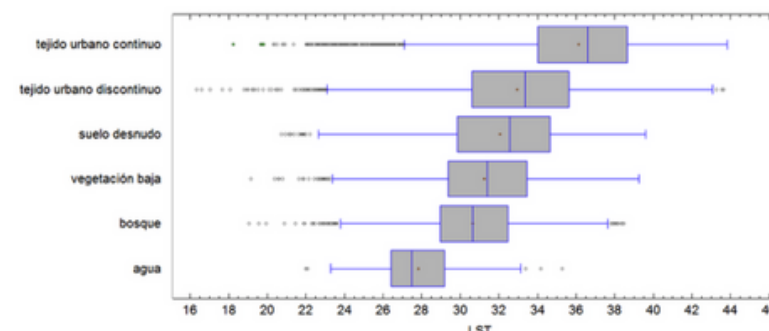


Figura 49. Relación LST / coberturas. Fuente: Garzón et al. (2020).

8.4.1 Obtención de índice de ocupación de suelo

Para la obtención del índice de ocupación de suelo, he utilizado una capa vectorial de la plataforma NextGis; dicha plataforma otorga información precisa y actualizada sobre esta variable a partir de imágenes satelitales de alta resolución. La información, procesada a través del software Qgis, permitirá comprender el índice de ocupación de suelo en torno a los CI y relacionarlos a la temperatura superficial (Figura 50). Se opta por plataforma de pago puesto que otras instituciones como el Instituto Geográfico Militar o OpenStreetMap, no contaban con información tan precisa y actualizada sobre las huellas de edificación en el Gran Santiago, necesarias para la obtención de datos.

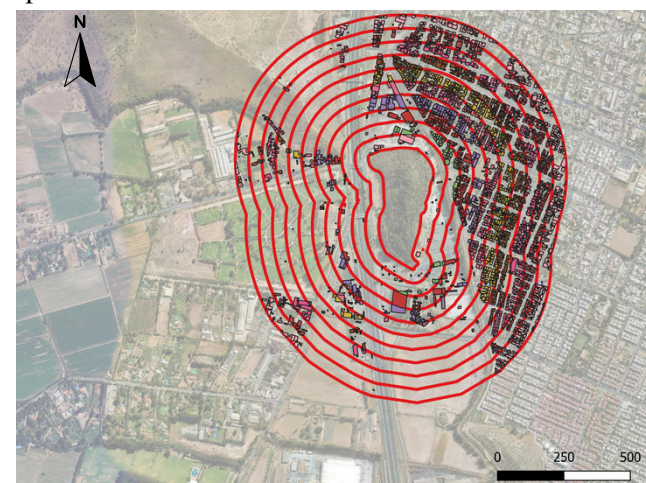


Figura 50. Edificaciones por anillo Cerro Hasbún, elaboración propia.

8.5 Características físicas de los cerros

Reyes Rodríguez et al. (2024) analizaron la temperatura superficial en las áreas verdes de la ciudad de Durango, concluyendo que la extensión de las áreas verdes en la ciudad, tienen la capacidad de reducir tanto el tamaño como la intensidad de las islas de calor a través de mecanismos de evapotranspiración, observando que a mayor extensión del área verde, habrá una mayor influencia en la temperatura superficial de las áreas urbanas aledañas, por otra parte Garzón-Barrero et al. (2020) concluyen que las áreas urbanas que presentan coberturas de suelo de vegetación boscosa y vegetación baja poseen menor grado de temperaturas en relación a tejidos urbanos continuos, discontinuos o desnudos, encontrando diferencias de 5,3°C entre el tejido urbano continuo y la cobertura boscosa.

Se considera, por lo tanto, relevante considerar dentro de las características físicas de cada cerro variables como la superficie del enclave, su porcentaje de cobertura vegetal y el estado de conservación de esta.

El NDVI proporciona un valor numérico que indica la densidad y la salud de la vegetación en una determinada área, en un rango de valor de NDVI, que varía entre -1 y 1. Estos valores indican el nivel de vegetación o la presencia de superficies no vegetales, siendo los valores negativos (menos de 0) aquellos que indican superficies sin vegetación, como cuerpos de agua o áreas urbanas; valores cercanos a 0 representan zonas con poca vegetación, como suelos desnudos o áreas áridas, y valores positivos altos (entre 0.6 y 1.0) indican vegetación densa y saludable. Respecto de la interpretación de colores, el rojo se asocia a áreas sin vegetación, como agua, roca o suelo desnudo; los tonos que van desde el naranja al amarillo se asocian a vegetación escasa o poco saludable Finalmente los colores verde claro/ oscuro se asocian a valores positivos, los cuales corresponden a vegetación moderada a densa.

Para la obtención de datos del NDVI necesarios para este estudio, utilicé el Navegador de *Copernicus browser*, una plataforma desarrollada por el Programa de Observación de la Tierra de la Unión Europea. Este navegador permite acceder a una amplia gama de datos satelitales, incluidos los productos derivados de los sensores Sentinel. Para la selección de imagen (figura 47), se selecciona el mismo día de la imagen LST (27 de Febrero del 2023), se descarga el producto Sentinel-2 L2A que contiene las bandas necesarias para el cálculo de NDVI (B04-B08) a través de la calculadora ráster. La fórmula para obtener el NDVI es la siguiente:

$$NDVI = \frac{(B08 - B04)}{(B08 + B04)}$$

Donde:

B08 (infrarrojo cercano-NIR): Corresponde a la luz infrarroja reflejada por la superficie.

B04 (Rojo): Corresponde a la cantidad de luz roja absorbida por la vegetación.

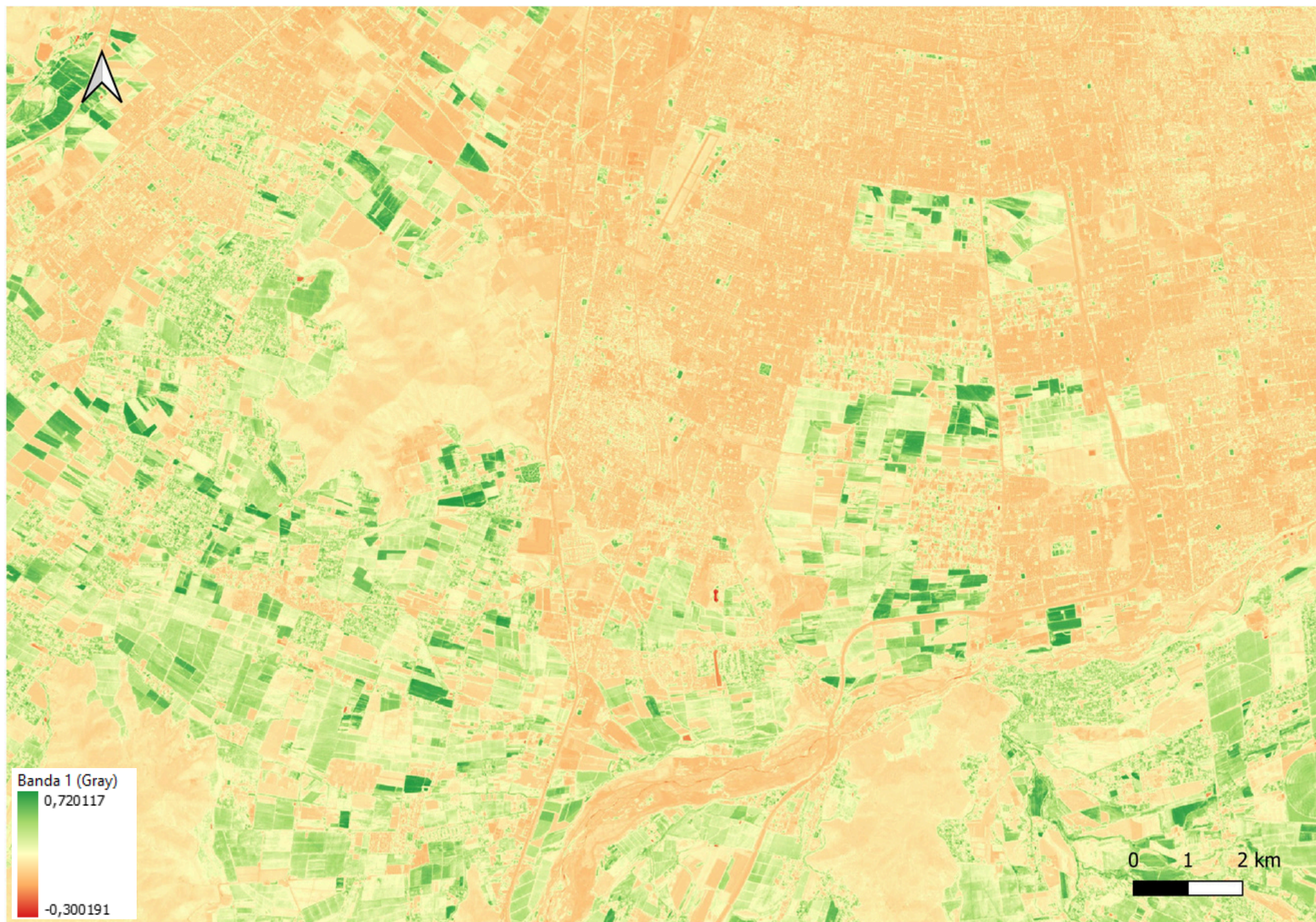


Figura 51. NDVI ciudad de Santiago, elaboración propia en base a Qgis.

9. Justificación metodológica

9.1 Temperatura superficial media de cada CI

Se identifica la temperatura superficial media de cada uno de los CI del gran Santiago; con ello se elabora un mapa de distribución, donde se grafica que aquellos cerros de menor temperatura se localizan en el sector oriente de la capital, en contraste con aquellos que presentan temperaturas más elevadas, ubicados en el sector poniente y norponiente (figuras 52, 53).

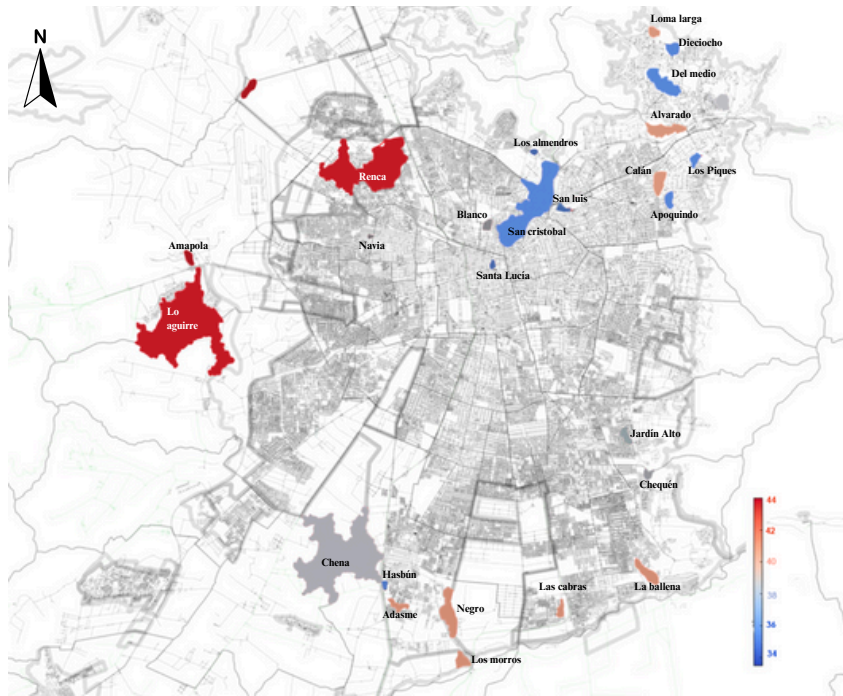


Figura 52. LST media de los CI del Gran Santiago, elaboración propia

Como se puede observar en la imagen, existe una correlación entre los cerros que presentan mayor temperatura superficial y la morfología urbana donde estos se emplazan. Aquellos cerros que promedian temperaturas superficiales menores se emplazan en el sector oriente de la capital, donde la morfología urbana es de carácter formal y con coeficientes de constructibilidad menores de 0.4, asociados principalmente a viviendas aisladas de menor altura y amplias zonas ajardinadas.



Imagen 05. Morfología urbana Poniente y Oriente, Google earth.

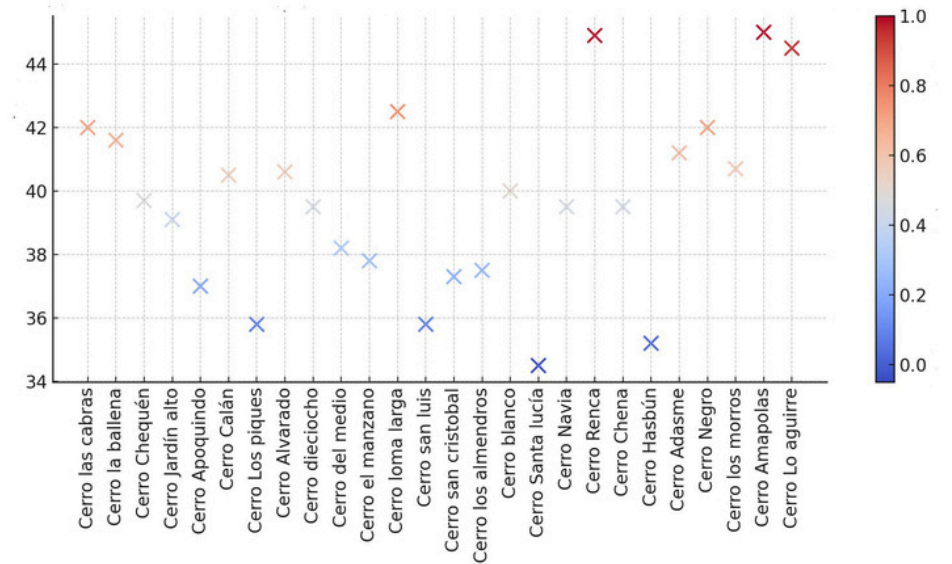


Figura 53. LST media en CI, elaboración propia

9.2 Identificación de enclaves con mayor potencialidad de impacto en la reducción de LST

El siguiente capítulo tiene por objetivo identificar aquellos enclaves que tengan la mayor capacidad de impactar positivamente en un barrio de la ciudad de Santiago, para ello, se ponen en relación aspectos relacionados a características físicas y socioespaciales de los enclaves.

Para la selección de variables físicas a analizar, el tamaño de cada cerro se consideró relevante, ya que una mayor superficie puede contribuir más significativamente a la regulación térmica a nivel local (Reyes et al; 2024). El NDVI también se ha considerado como una variable significativa, al relacionarse con la reducción de temperatura (Santos da Silva et al; 2023). Sumado a ello, se considera el porcentaje de cobertura vegetal de cada cerro.

En el caso de variables socioespaciales, asociadas al contexto urbano que enfrentan los enclaves, se consideran importantes aspectos como la morfología urbana (Alegria, 2024) y el entorno socioeconómico (OCUC, 2012).

A través de la identificación de las variables mencionadas por cada enclave, se busca ponderar un puntaje por cada CI, para identificar aquellos enclaves que presentan la mayor capacidad para impactar positivamente en la reducción de la temperatura superficial de Santiago. Se asigna entonces un porcentaje de importancia a cada variable donde: Superficie (30%), cobertura vegetal (15%), NDVI (3%), morfología urbana (17%), nivel socioeconómico (35%). El porcentaje de ponderación de cada variable será mayor en aspectos que no tengan capacidad de cambio, tales como superficie del enclave, morfología urbana y nivel socioeconómico, variable a la cual se le atribuye mayor porcentaje, ya que atiende a problemas estructurales de la ciudad, que se relacionan con la injusticia ambiental (Vásquez et al; 2007).

A variables que guardan relación con el tratamiento de los enclaves en sí mismos, se les otorgan menores ponderaciones, ya que se asocian a posibilidades de cambio más sencillas de concretar.

9.2.1 Normalización de variables

Este proceso de normalización es útil para asegurarse de que las diferencias en las unidades de medida no afecten la interpretación del índice final.

Así, todas las variables estarán en una escala comparable y tendrán el mismo rango de influencia en la tabla de evaluación.

VARIABLES A CONSIDERAR		
Variables normalizadas	Escala de importancia	Ponderación (%)
% Del total de superficie	Escala 1 (Baja importancia): Menos del 1% del total Escala 2 (Mediana importancia): Entre el 1% y el 10% del total Escala 3 (Alta importancia): Más del 10% del total	30
Cobertura vegetal	Escala 1 (Baja importancia): Menos del 30% de cobertura Escala 2 (Mediana importancia): Entre el 30% y el 60% de cobertura Escala 3 (Alta importancia): Más del 60% del total	15
NDVI	Escala 1 (Baja importancia): Bajo Escala 2 (Mediana importancia): Medio Escala 3 (Alta importancia): Alto	3
Morfología urbana	Escala 1 (Baja importancia): Formal con baja densidad Escala 2 (Mediana importancia): Mix formal con densidad media Escala 3 (Alta importancia): Mix informal densidad alta	17
Nivel socioeconómico	Escala 1 (Baja importancia): ABC1, nivel acomodado Escala 2 (Mediana importancia): C2, C3 , clase media Escala 3 (Alta importancia): D, E, mayor vulnerabilidad	35
IMPORTANCIA	Escala 1 : Baja importancia Escala 2 : Media importancia Escala 3 : Alta importancia	100

Tabla 18. Variables a normalizar por cada CI, elaboración propia.

PONDERACIÓN DE DATOS		
Rango de puntaje	Grado de importancia	Escala de color
Entre 1,0 y 1,5	Poca capacidad de impacto	
Entre 1,6 y 2,0	Mediana capacidad de impacto	
Mayor a 2,0	Alta capacidad de impacto	

Tabla 19. Ponderación de variables, elaboración propia.

9.2.1.1 Superficie

Para medir la relevancia de esta variable en la reducción de la temperatura superficial, primeramente se identifica la superficie total de los CI presentes en el Gran Santiago, la cual corresponde a 5.556 hectáreas. Con base en esta, se calcula el porcentaje de superficie que aporta cada CI en relación al total. Una vez identificados los porcentajes en relación a la superficie total, se procede a normalizar los valores en una escala de 1 a 3, siendo la siguiente:

Variables normalizadas	Escala de importancia	Ponderación (%)
% Del total de superficie	Escala 1 (Baja importancia): Menos del 1% del total Escala 2 (Mediana importancia): Entre el 1% y el 10% del total Escala 3 (Alta importancia): Más del 10% del total	30

Tabla 20. Rango de superficie por cerros analizados, elaboración propia.

9.2.1.2 Cobertura vegetal

En relación al porcentaje de cobertura vegetal presentado por cada CI, se define una normalización de valores, donde corresponden a la siguiente escala:

Variables normalizadas	Escala de importancia	Ponderación (%)
Cobertura vegetal	Escala 1 (Baja importancia): Menos del 30% de cobertura Escala 2 (Mediana importancia): Entre el 30% y el 60% de cobertura Escala 3 (Alta importancia): Más del 60% del total	15

Tabla 21. Rango de cobertura vegetal por cerros analizados

Los valores son directamente proporcionales a la cobertura, es decir, aquellos valores más bajos se deben a menor presencia de cobertura vegetal.

9.2.1.3 NDVI

En relación a la escala de valores desprendida del visor *Copernicus browser*, el rango va de -1 a 1. Los valores negativos de NDVI (valores cercanos a -1) corresponden a cuerpos de agua; los valores cercanos a cero (-0.1 a 0.1) generalmente corresponden a áreas áridas de rocas, arena o nieve; los valores positivos bajos representan arbustos y pastizales (aproximadamente de 0.2 a 0.4), mientras que los valores altos indican bosques templados y selvas tropicales (valores cercanos a 1). Con base en la obtención de datos de este visor, se obtiene el NDVI representativo de cada CI, donde la normalización de sus valores se desarrolla de la siguiente manera:

Se considera un NDVI bajo cuando la mayor superficie del cerro presenta rangos de 0,1, -0,1. En ese caso, se considera que su aporte en la reducción de la temperatura es de baja importancia, ponderando 1.

Se considera un NDVI medio cuando la mayor superficie del cerro presenta rangos entre 0,2 y 0,4. En este caso, se considera que su aporte en la reducción de temperatura es de media importancia, ponderando 2.

Finalmente, se considera un NDVI alto cuando la mayor superficie el cerro presenta rangos entre 0,6 y 1. En este caso, se considera que su aporte en la reducción de la temperatura es de alta importancia, ponderando 3. La ponderación final de esta variable es de 3%, ya que, como se menciona anteriormente, se entiende que es un aspecto que no es estructural, que puede revertirse con políticas públicas orientadas al adecuado manejo y reforestación de los enclaves.

Variables normalizadas	Escala de importancia	Ponderación (%)
NDVI	Escala 1 (Baja importancia): Bajo Escala 2 (Mediana importancia): Medio Escala 3 (Alta importancia): Alto	3

Tabla 22. Rango de NDVI por cerros analizados, elaboración propia.

9.2.1.4 Morfología urbana

Con base en lo establecido por Alegría (2024), y lo consultado en instrumentos de planificación territorial, como planes reguladores comunales, se identifica una escala según tipologías de urbanización y coeficientes de constructibilidad. Siendo los valores más bajos aquellos que se asocian a morfología formal de baja densidad, y los más altos asociados a asentamientos informales. La variable pondera un 17% del total.

Variables normalizadas	Escala de importancia	Ponderación (%)
Morfología urbana	Escala 1 (Baja importancia): Formal con baja densidad Escala 2 (Mediana importancia): Mix formal con densidad media Escala 3 (Alta importancia): Mix informal densidad alta	17

Tabla 23. Rango de morfología urbana por cerros analizados

9.2.1.5 Nivel socioeconómico

En base a los datos obtenidos por el observatorio de ciudades de la Pontificia Universidad Católica de Chile, donde se observa el cruce de información acerca de la ubicación de los CI en el Gran Santiago, y su contexto socioeconómico, se desarrolla la normalización en relación a la contribución que tendría un enclave sobre su contexto, entendiendo entonces que aquellos enclaves que se encuentran en sectores más acomodados de la ciudad, donde hay menor vulnerabilidad socioespacial, donde la urbanización es formal, con mayor presencia de áreas verdes y calles ajardinadas, habría una menor capacidad de impactar positivamente en su contexto, en contraste con enclaves que se encuentran en sectores vulnerables, donde el potencial de cambio sería superior, al emplazarse en sitios donde las áreas verdes son escasas y los grados de informalidad son mayores.

Se establece entonces una escala de 1 a 3, atribuyéndose menor importancia a enclaves emplazados en zonas acomodadas, mediana importancia a enclaves que se encuentran en zonas de clase media y alta importancia a aquellos que se encuentran en zonas de mayor vulnerabilidad (Tabla 24).

Variables normalizadas	Escala de importancia	Ponderación (%)
Nivel socioeconómico	Escala 1 (Baja importancia): ABC1, nivel acomodado Escala 2 (Mediana importancia): C2, C3 , clase media Escala 3 (Alta importancia): D, E, mayor vulnerabilidad	35

Tabla 24. Rango de nivel socioeconómico por cerros analizados

La ponderación de esta variable es la que obtiene mayor porcentaje, puesto que, como se ha mencionado, guarda relación con un problema estructural de acceso a las áreas verdes vinculado al nivel socioeconómico, afectando de forma dramática la capacidad de resiliencia ante alzas de temperatura por parte de la población más vulnerable.

Al comprender que la ocupación de suelo destinada a áreas verdes es escasa, se observa a aquellos CI que se emplazan en dichos contextos como una alternativa en la reducción de la LST.

9.2.1.6 Resultados

NOMBRE CERRO	SUPERFICIE (Ha)	% DEL TOTAL SUPERFICIE	% DEL TOTAL SUPERFICIE (NORMALIZADO)	COBERTURA VEGETAL	COBERTURA VEGETAL (NORMALIZADO)	NDVI	NDVI (NORMALIZADO)	DENSIDAD URBANA	T SUPERFICIAL (NORMALIZADO)	NIVEL SOCIOECONOMICO	NIVEL SOCIOECONOMICO (NORMALIZADO)	PUNTOS (A)	PUNTOS (A) (NORMALIZADO)
Cerro las cabras	30,3	0,54%	1	20%	1	Medio	2	Alta	3	E, D	3	2,1	3
Cerro la ballena	66,7	1,20%	1	40%	2	Medio	2	Alta	3	D	3	2,2	3
Cerro Chequén	38,3	0,69%	1	60%	3	Medio	2	Media	2	C3, D	3	2,2	3
Cerro Jardín alto	65,56	1,18%	1	20%	1	Medio	2	Baja	1	ABC1, C2, C3	1	1,0	1
Cerro Apoquindo	69	1,24%	1	30%	2	Medio	2	Baja	1	ABC1	1	1,2	1
Cerro Calán	55,8	1,00%	1	30%	2	Medio	2	Baja	1	ABC1	1	1,2	1
Cerro Los piques	32,7	0,59%	1	60%	3	Medio	2	Baja	1	ABC1	1	1,3	1
Cerro Alvarado	191,9	3,44%	2	50%	2	Medio	2	Baja	1	ABC1	2	1,8	2
Cerro dieciocho	98,8	1,77%	1	50%	2	Medio	2	Media	2	ABC1, C3, D, E	1	1,4	1
Cerro del medio	11,6	0,21%	1	60%	3	Medio	2	Baja	1	ABC1	1	1,3	1
Cerro el manzano	11,6	0,21%	1	60%	2	Medio	2	Baja	1	ABC1	1	1,2	1
Cerro loma larga	13,7	0,25%	1	40%	2	Medio	2	Baja	1	ABC1	1	1,2	1
Cerro san luis	12,8	0,23%	1	40%	3	Medio	2	Baja	1	ABC1	1	1,3	1
Cerro san cristobal	715,1	12,83%	3	60%	3	Medio	2	Media	2	ABC1, C3, D	2	2,5	3
Cerro los almendros	5,8	0,10%	1	60%	3	Medio	2	Media	2	D	1	1,5	2
Cerro blanco	19,8	0,36%	1	20%	1	Medio	2	Media	2	C3, D	3	1,9	2
Cerro Santa lucía	6,9	0,12%	1	90%	2	Alto	3	Alta	3	C2	1	1,6	2
Cerro Navia	2,8	0,05%	1	90%	3	Alto	3	Alta	3	C3, D	3	2,4	3
Cerro Renca	869,5	15,59%	3	10%	2	Bajo	1	Alta	3	D, E, ABC1	3	2,8	3
Cerro Chena	1394,6	25,01%	3	40%	1	Medio	2	Media	2	C3, D, E	3	2,5	3
Cerro Hasbún	10	0,18%	1	90%	3	Alto	2	Media	2	C3, D, E	3	2,2	3
Cerro Adasme	22,4	0,40%	1	30%	2	Medio	2	Media	2	C3, D	3	2,1	3
Cerro Negro	119,9	2,15%	2	20%	1	Medio	2	Alta	3	D	2	2,0	3
Cerro los morros	30,96	0,56%	1	30%	2	Medio	2	Media	2	C3, D	3	2,1	3
Cerro Amapolas	71	1,27%	2	20%	1	Medio	2	Baja	1	NA	1	1,3	1
Cerrillos de Lo Castro	18,7	0,34%	1	20%	1	Bajo	1	Baja	1	E, D	3	1,7	2
Cerro Lo aguirre	1589,4	28,51%	3	40%	2	Medio	2	Media	2	ABC1, C3	1	2,0	2

Tabla 25. Resultado de variables normalizadas, elaboración propia.

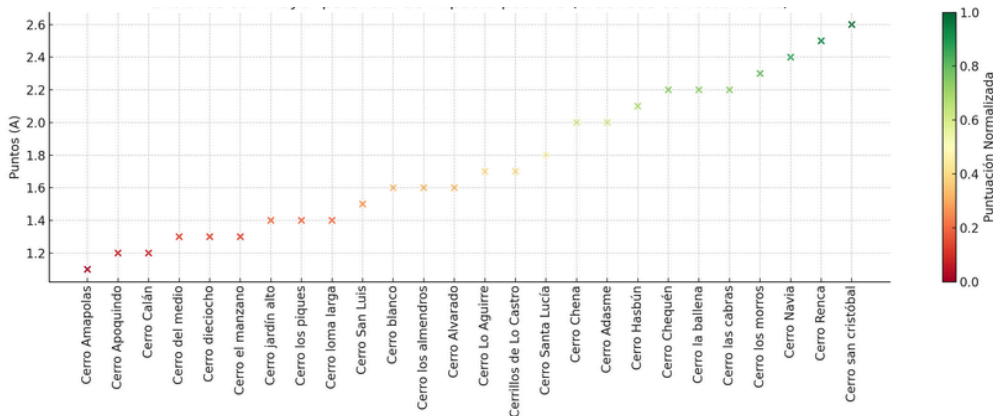
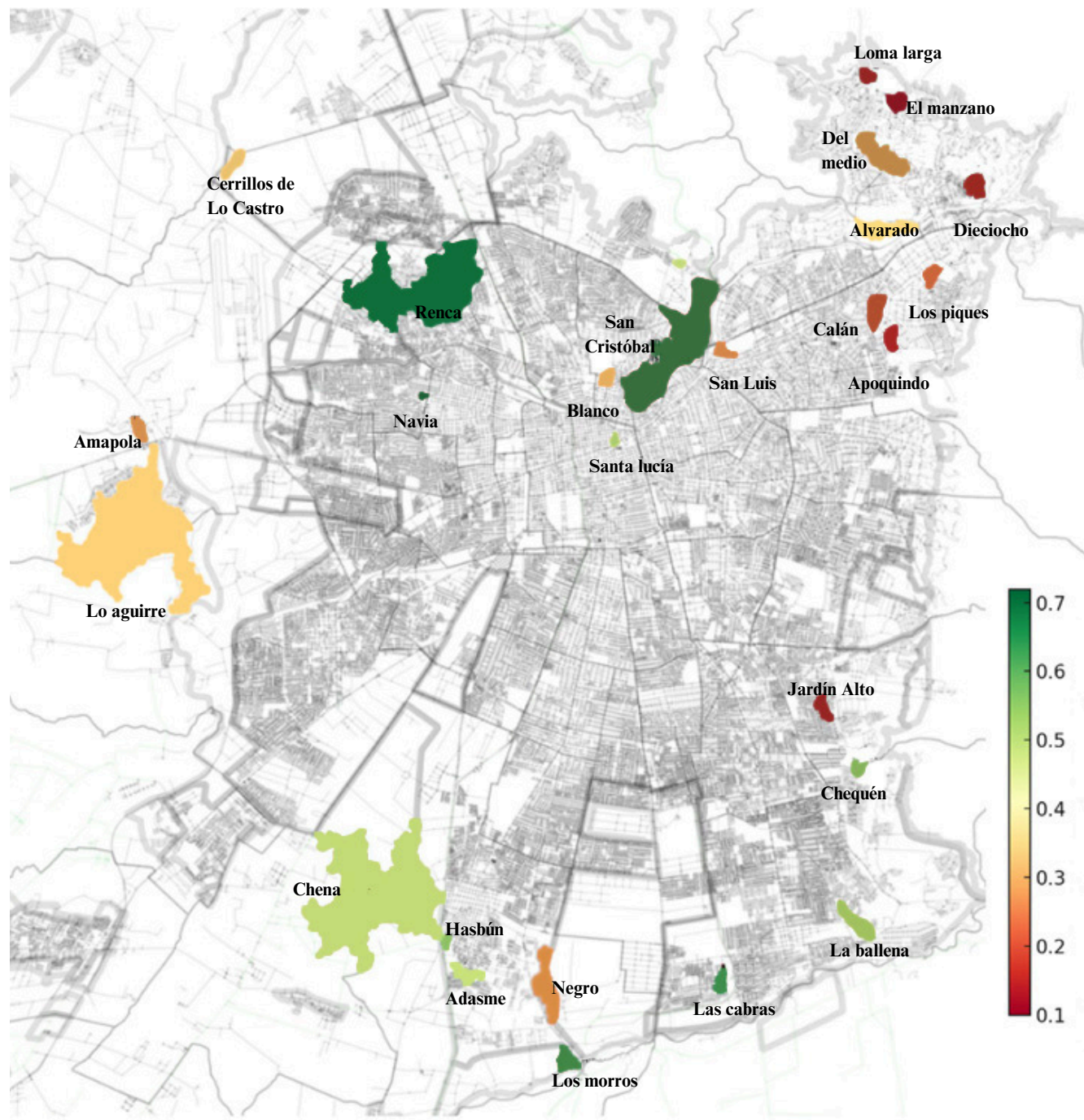


Figura 54. Enclaves con mayor potencial de impacto positivo.

El presente gráfico de dispersión muestra el resultado de las ponderaciones obtenidas por variable; en color verde se indican aquellos cerros que ponderan sobre 2.0, por lo tanto presentan una alta importancia al momento de considerar sus posibilidades de impactar positivamente en la reducción de la temperatura superficial de la tierra y con ello contribuir a la mejora del microclima urbano.

En color rojo se muestran aquellos cerros que no tendrían una mayor influencia en la trama urbana debido a que se insertan en sectores socioeconómicos acomodados, con buen nivel de espacio público; por tanto, su impacto en la resiliencia del territorio sería menor.



9.3 Casos de estudio pormenorizados

En relación a la identificación de enclaves con mayor potencial de impacto (Figura 55), se seleccionan dos casos comparativos (figura 56) para poner en relación tres variables por enclave: Superficie, NDVI, índice de ocupación de suelo. El caso 1 se centra en comparar los cerros Santa Lucía-Hasbún, ambos enclaves de similar superficie y NDVI, emplazados en contextos urbanos diferentes. El caso 2 comparará los cerros Renca y San Cristóbal, ambos de superficies y contextos urbanos similares, pero con NDVI diferente (Tabla 26).

CASOS DE ESTUDIO Y VARIABLES

	Código	Superficie há	NDVI	índice de ocupación de suelo	
Santa Lucía	3	7	Alto	% Suelo construido	Caso 1
Hasbún	4	10	Alto	% Suelo construido	
Renca	1	869	Bajo	% Suelo construido	Caso 2
San Cristobal	2	715	Medio	% Suelo construido	

Tabla 26. Casos de estudio pormenorizado y variables a considerar.



Imagen 06, Cerro Renca



Imagen 07. Cerro San Cristóbal

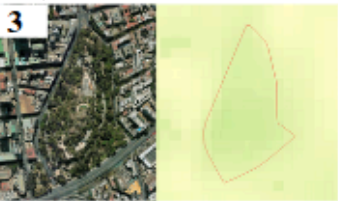


Imagen 08. Cerro Santa Lucía



Imagen 09. Cerro Hasbún

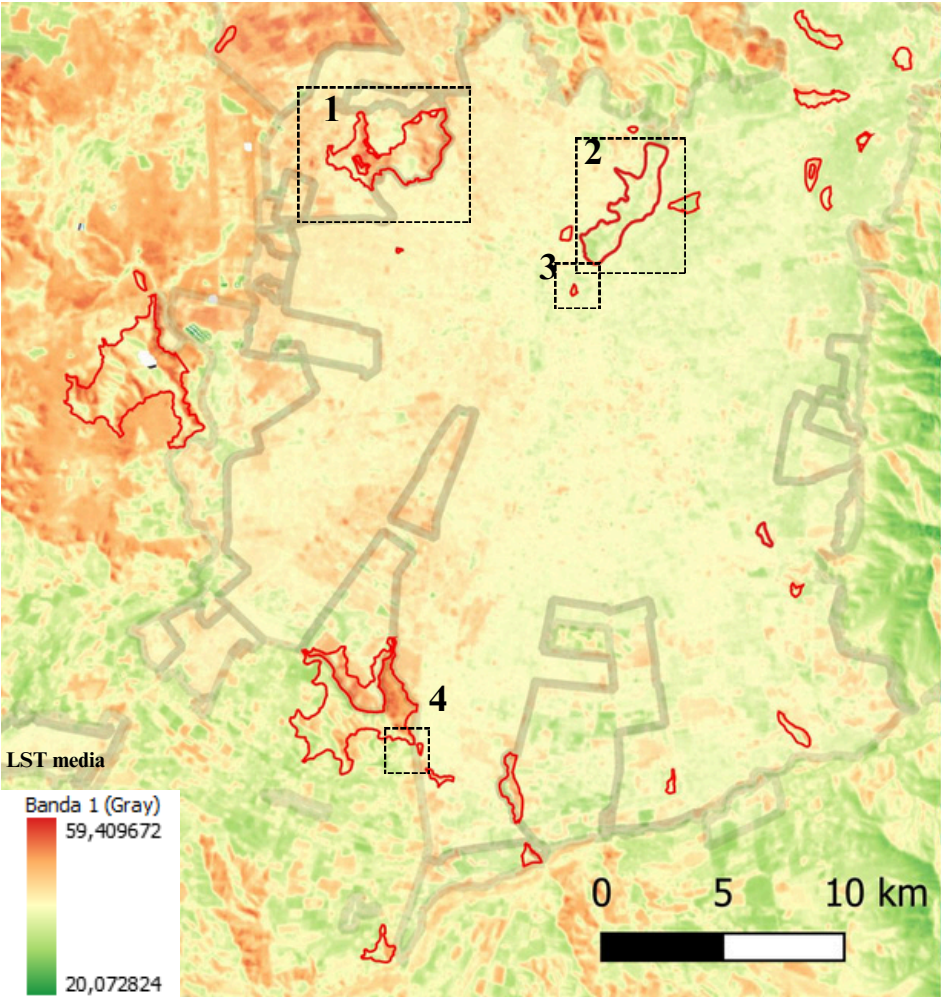


Figura 56. CI seleccionados para casos de estudio, elaboración propia.

9.4 Indicadores de efecto de enfriamiento

9.4.1 Anillos concéntricos

El *Park cooling island*⁴ (PCI), puede relacionarse con la temperatura del aire o con la LST (Li et al; 2020). Para efectos del presente estudio, la cuantificación del efecto de enfriamiento de los CI seleccionados considerará el valor de la temperatura superficial de la tierra (LST). Se desarrollará un análisis en base a la metodología planteada por Li (2020), aplicando la siguiente fórmula:

$$PCI = \Delta T = T_u - T_p$$

Donde:

T_u Corresponde a la LST media de un área urbana dentro de una zona buffer de 500 metros fuera del parque.

T_p Corresponde a la LST media dentro del parque.

Utilizando como base la capa raster de LST de *Google Earth Engine* obtenida el día 27 de febrero del 2023, procesada a través del programa Qgis y su herramienta “*Estadísticas zonales*”, se obtiene la temperatura superficial promedio de los casos de estudio y se establece alrededor de cada cerro una zona *buffer* (zona de influencia) de 500 metros de distancia, dividida en diez anillos de 50 metros cada uno, para determinar la intensidad y extensión del efecto de enfriamiento del enclave, además de su relación con las variables NDVI, índice de ocupación de suelo y superficie.

Para poder relacionar la información, se ha identificado la información de cada variable por anillo y, a través de la herramienta “*Estadísticas zonales*”, se ha identificado la media de LTS y NDVI para identificar su comportamiento en relación a la distancia del enclave. En el caso del índice de ocupación de suelo, a través de la herramienta de “*Recorte*”, se han identificado los polígonos construidos en cada anillo y se ha determinado el porcentaje de ocupación de suelo en cada uno de ellos a través de la herramienta “*Estadísticas zonales*”.

4. Isla de enfriamiento de parque, se define como la diferencia entre la temperatura en superficie promedio en el interior de un espacio verde urbano y la temperatura en superficie promedio en una zona de influencia que se extiende hasta 500 metros fuera del espacio verde urbano.

9.4.2 Transectos

Reconociendo la heterogeneidad tanto de los enclaves seleccionados como del contexto urbano que enfrentan en todo su perímetro, se identifican ciertas situaciones que significan algunas distorsiones en las variables medias detectadas en cada anillo. Ello atribuido a la presencia de ciertos elementos urbanos como grandes parques que aportan en la reducción de la LST media o tipologías de urbanización formales con buen nivel de áreas verdes, parques y calles ajardinadas que no son representativas del contexto urbano general, pero que la reducción de su temperatura aporta a distorsionar la media en los anillos que las contemplan.

Para analizar el comportamiento de la LST con mayor precisión, se identifican transectos que evidencian aquellas situaciones más irregulares para interpretar la capacidad de enfriamiento y la relación de las variables de los diversos enclaves según el contexto urbano que enfrentan. El transecto corresponde a un método de análisis, el cual sirve para identificar y describir, a través de un corte transversal, las variables observadas (figura 57).



Figura 57. Transecto de LST, elaboración propia.

Para el desarrollo de transectos, se utiliza el software Qgis y se trabaja con las capas ráster de LST, Google satélite y NDVI, procesadas a través de la herramienta “*Profile tool*”, la cual grafica el perfil del transecto y el comportamiento tanto de la temperatura superficial como del NDVI a lo largo del mismo. Ello permite analizar con mayor precisión las variables y observar a través de Google satélite las relaciones con el índice de ocupación de suelo.

A modo de complemento, se desarrolla un mapa de sombras a partir de un modelo digital de terreno, el cual se incluye como dato anexo para identificar de qué forma la proyección de la sombra de los mismos enclaves podría contribuir a la reducción de la LST.

9.5 Recopilación de datos, caso 1 : Cerros Santa Lucía / Hasbún

Con base en la metodología de anillos concéntricos, se proyectan diez anillos sobre la capa ráster LST distanciados a 50 metros. La información de la temperatura media se obtiene a través de la herramienta “Estadísticas zonales”; los resultados obtenidos corresponden a la media de cada anillo, y son los siguientes, donde “A” corresponde a anillo.

LST MEDIA ANILLOS CERRO SANTA LUCÍA										
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
LST media anillos	36,5	37,3	37,3	37,2	37,1	36,9	36,6	36,8	36,8	37,1
LST media cerro	34,5									
Distancia (m)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
LST media buffer	36,9									

Tabla 27. LST media anillos concéntricos Santa Lucía, elaboración propia.

En relación al índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), se realiza el mismo procedimiento anterior; se utiliza la capa ráster para identificar, a través de la herramienta “Estadísticas zonales” de Qgis, la media en cada uno de los anillos concéntricos, así como también la media dentro del cerro y del total del buffer, siendo los resultados los siguientes:

NDVI MEDIA ANILLOS CERRO SANTA LUCÍA										
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
NDVI media anillos	0,09	0,06	0,05	0,06	0,06	0,09	0,10	0,11	0,10	0,09
NDVI media cerro	0,26 Moderado									
Distancia (m)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
NDVI media buffer	0,08									

Tabla 28. NDVI media anillos concéntricos Santa Lucía, elaboración propia.

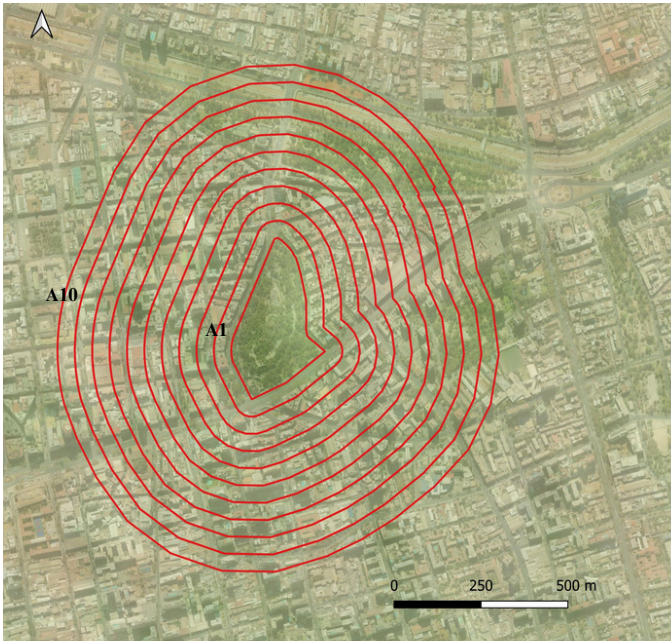


Figura 58. Anillos buffer LST , Cerro Santa Lucía, elaboración propia

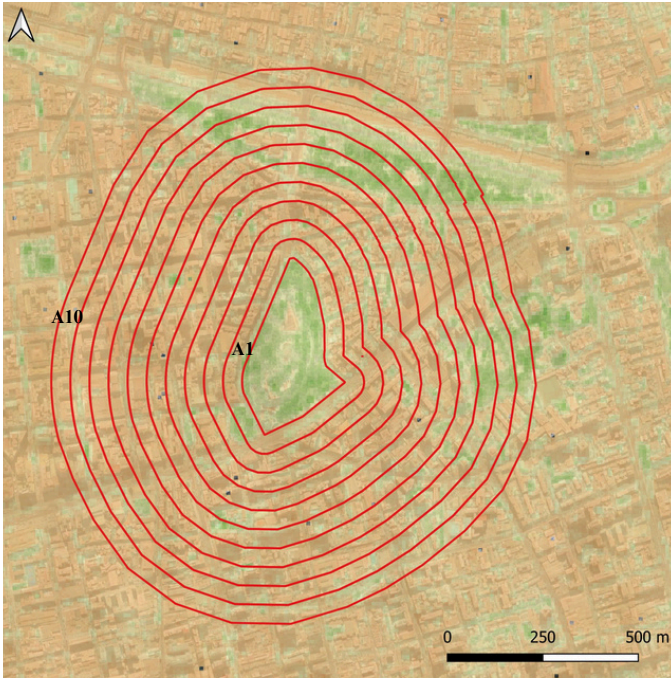


Figura 59. Anillos buffer NDVI, cerro Santa lucía, elaboración propia

Para determinar el índice de ocupación de suelo (IOS) en cada anillo del Cerro Santa Lucía, se ha utilizado la capa vectorial de edificaciones y se ha identificado la diferencia entre la superficie libre de cada anillo y la superficie edificada.

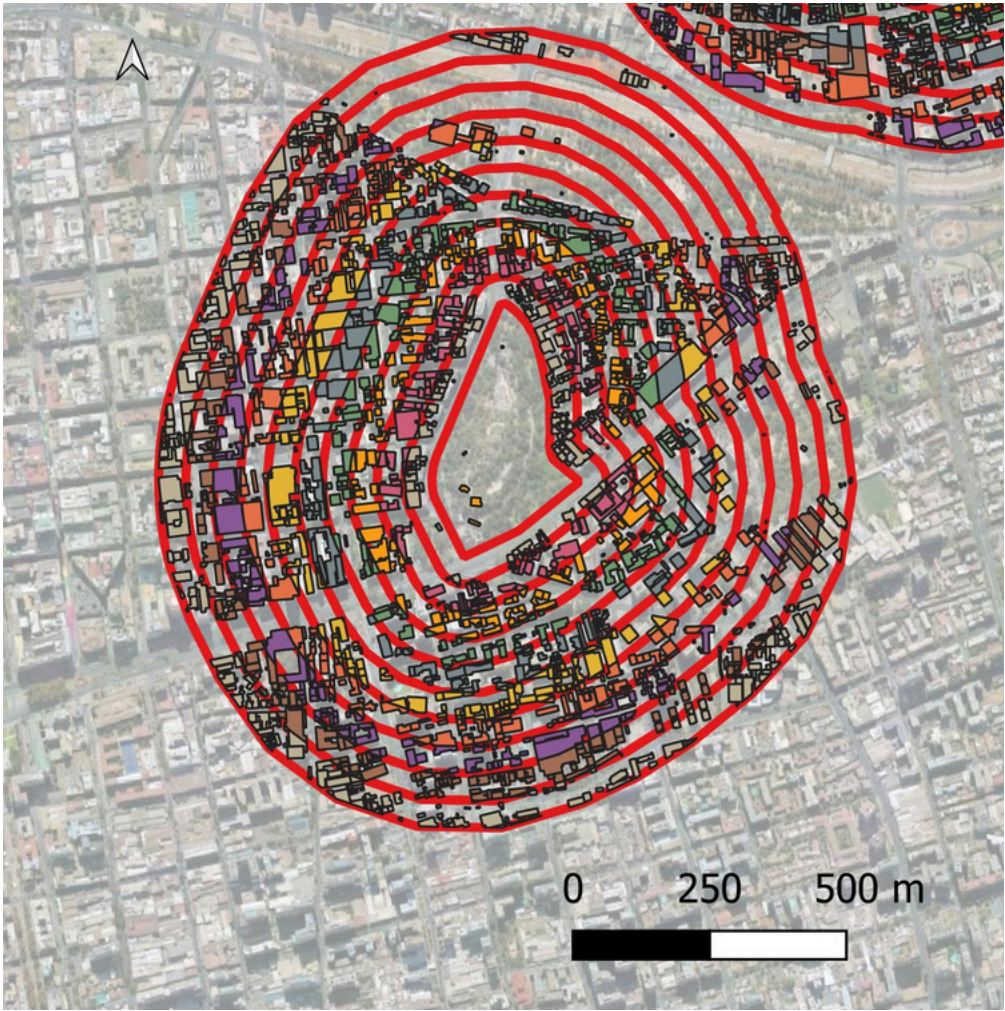


Figura 60. Anillos buffer IOS, cerro Santa lucía, elaboración propia

ÍNDICE DE OCUPACION DE SUELO ANILLOS CERRO SANTA LUCÍA

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
IOS anillos	26%	41%	41%	38%	38%	37%	33%	30%	29%	30%
IOS cerro	0,85%									
Distancia (m)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
IOS buffer	34%									

Tabla 29. IOS media anillos concéntricos Santa Lucía, elaboración propia.

LST MEDIA ANILLOS CERRO HASBÚN

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
LST media anillos	37,2	38,2	38,7	39,2	39,8	40	40,1	40,1	40	39,7
LST media cerro	35, 2									
Distancia (m)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
LST media buffer	39,6									

Tabla 30. LST media anillos concéntricos Hasbún, elaboración propia.

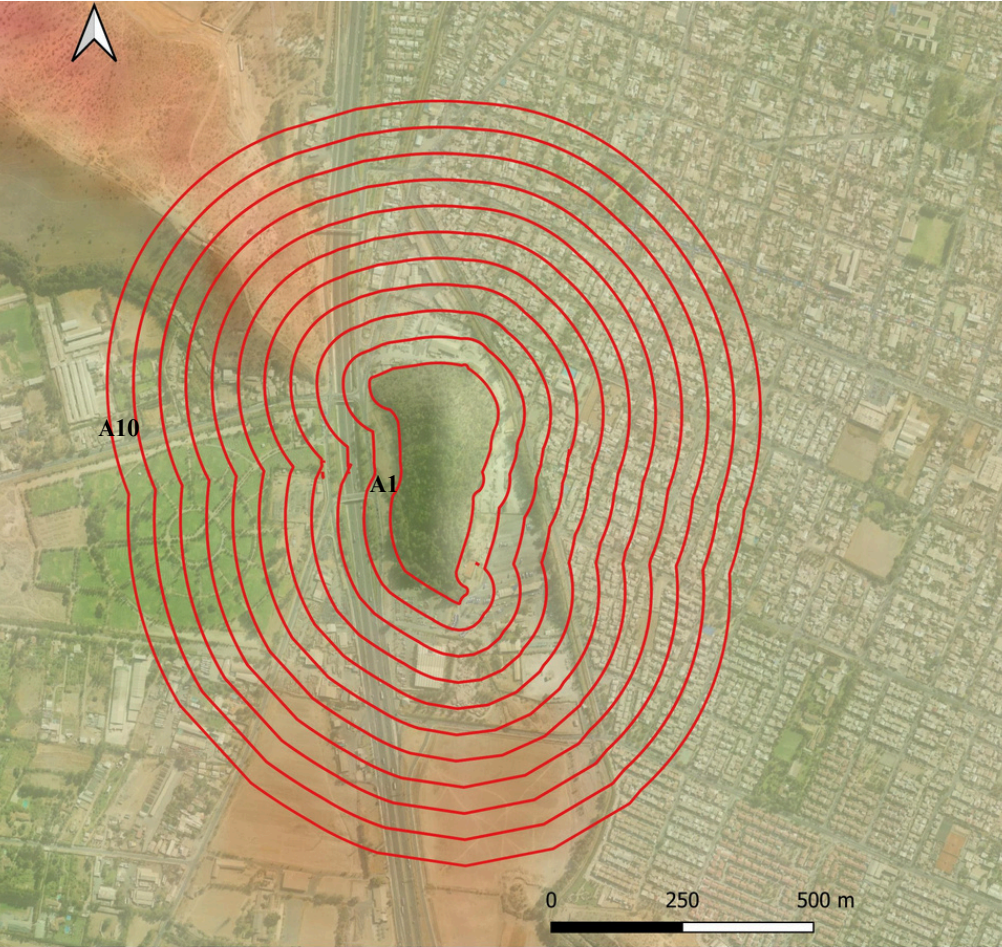


Figura 61. Anillos buffer LST Cerro Hasbún, elaboración propia

NDVI MEDIA ANILLOS CERRO HASBÚN

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
NDVI media anillos	0,12	0,10	0,11	0,10	0,11	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15
Distancia (m)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
NDVI media buffer	0,12									
NDVI media cerro	0,23									

Tabla 31. NDVI media anillos concéntricos Hasbún, elaboración propia.

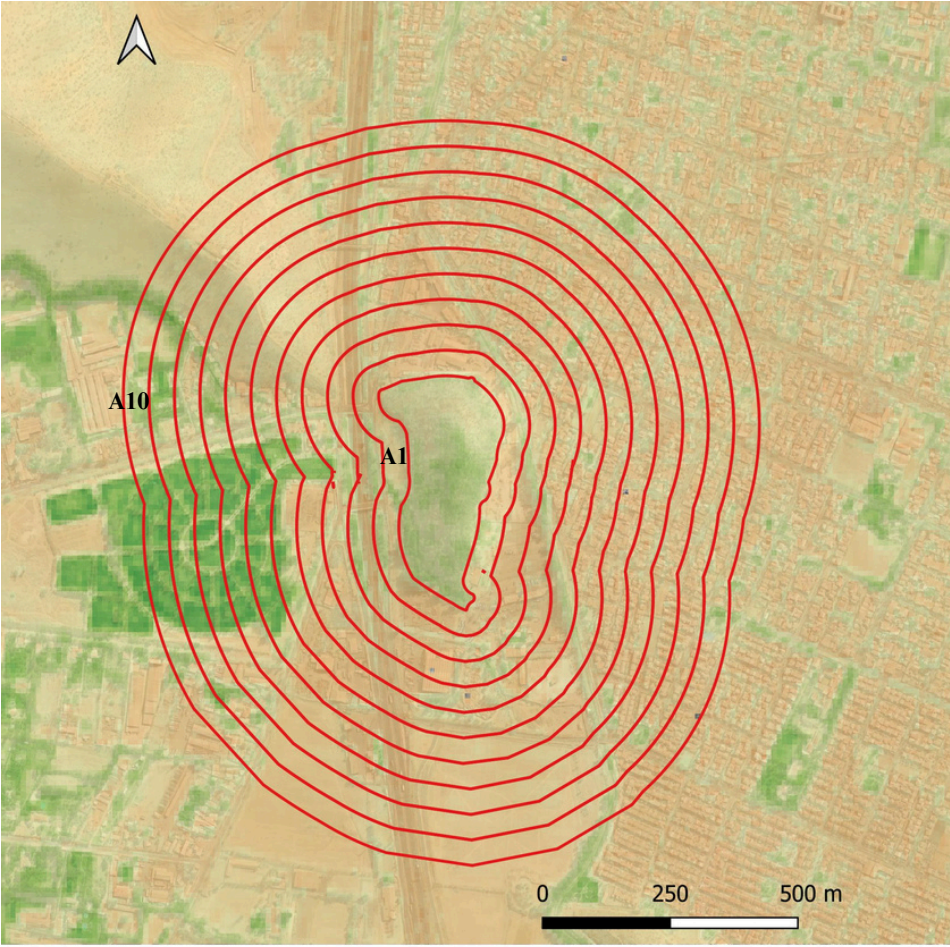


Figura 62. Anillos buffer NDVI cerro Hasbún, elaboración propia

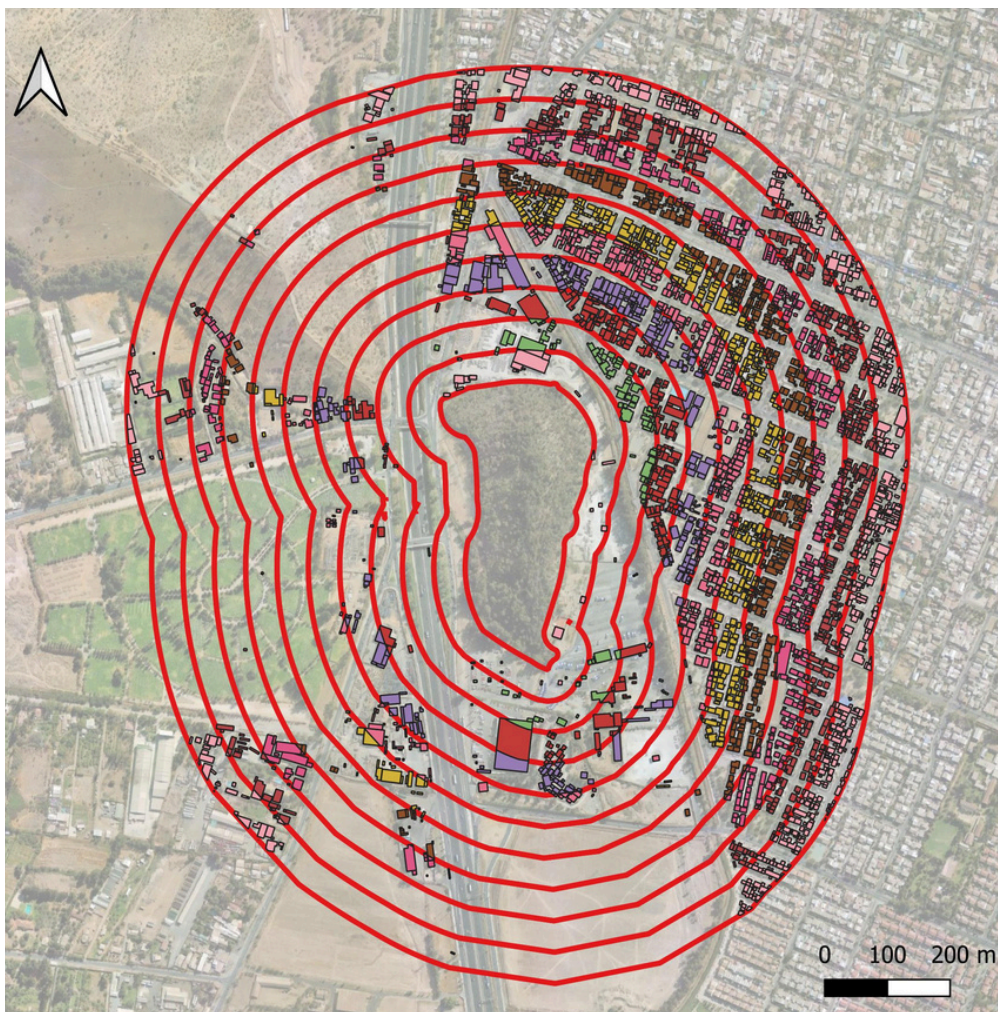


Figura 63. Anillos buffer IOS, Cerro Hasbún, elaboración propia

ÍNDICE DE OCUPACION DE SUELO ANILLOS CERRO HASBÚN

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
IOS anillos	4%	9%	21%	23%	20%	21%	18%	19%	17%	18%
IOS cerro	0%									
Distancia (m)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
IOS buffer	17%									

Tabla 32. IOS media anillos concéntricos Hasbún, elaboración propia.

9.6 Recopilación de datos, caso 2 : Cerro San Cristóbal / Renca

LST MEDIA CERRO SAN CRITOBAL										
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
LST media anillos	37,5	37,5	37,8	38,5	38,1	38,1	38,1	38,1	38,2	38,1
LST media cerro	37,4									
Distancia (m)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
LST media buffer	38									

Tabla 33. LST media anillos concéntricos San Cristóbal, elaboración propia.

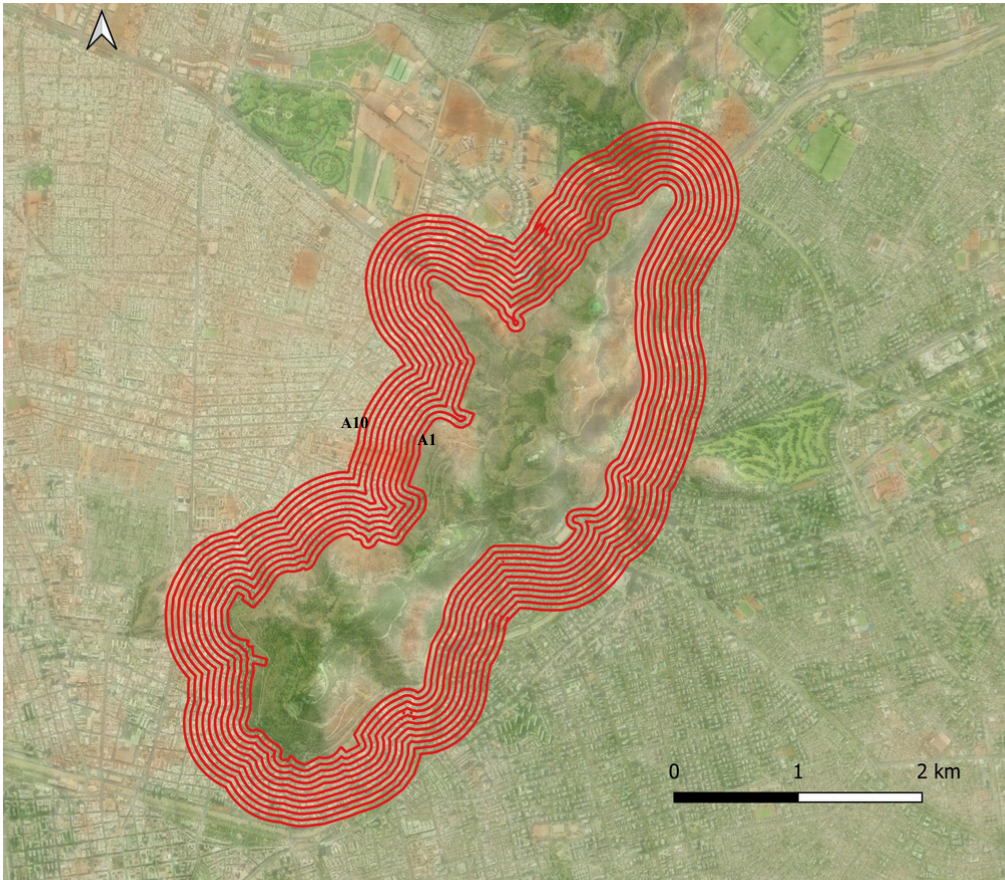


Figura 64. Anillos buffer LST cerro San Cristóbal, elaboración propia

NDVI MEDIA CERRO SAN CRITOBAL										
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
NDVI media anillos	0,18	0,16	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,13	0,13
NDVI media cerro	0,19									
Distancia (m)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
NDVI media buffer	0,13									

Tabla 34. NDVI media anillos concéntricos San Cristóbal, elaboración propia.

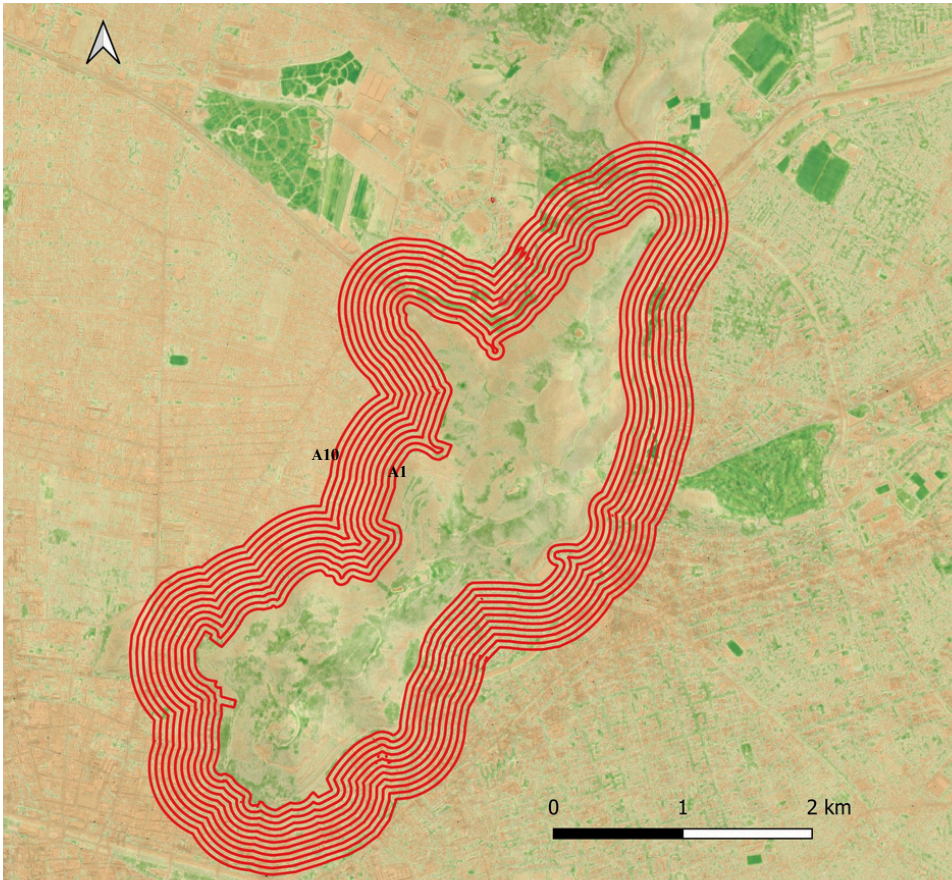


Figura 65. Anillos buffer NDVI cerro San Cristóbal, elaboración propia



Figura 66. Anillos buffer IOS Cerro San Cristóbal, elaboración propia

ÍNDICE DE OCUPACION DE SUELO ANILLOS CERRO SAN CRISTÓBAL

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
IOS anillos	17%	21%	21%	21%	23%	25%	25%	23%	24%	24%
IOS cerro	0,84%									
Distancia (m)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
IOS buffer	22%									

Tabla 35. IOS media anillos concéntricos San Cristóbal, elaboración propia.

LST MEDIA CERRO RENCA

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
LST media anillos	43,6	42,6	41,9	41,4	41,1	40,9	41,0	44,4	41,4	41,5
LST media cerro	44,8									
Distancia (m)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
LST media buffer	42,0									

Tabla 36. LST media anillos concéntricos Renca, elaboración propia.

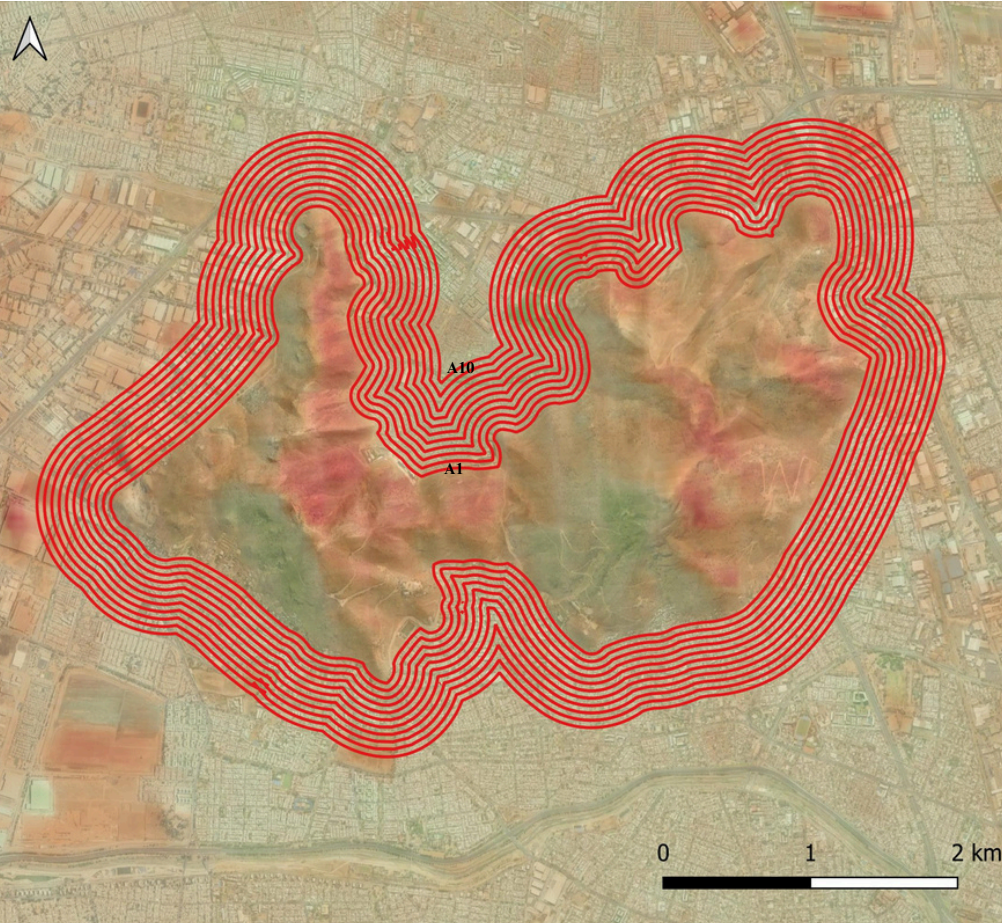


Figura 67. Anillos buffer LST cerro Renca, elaboración propia.

NDVI MEDIA CERRO RENCA

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
NDVI media anillos	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10		0,10	0,10
NDVI media cerro	0,09									
Distancia (m)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
NDVI media buffer	0,099									

Tabla 37. NDVI media anillos concéntricos Renca, elaboración propia.

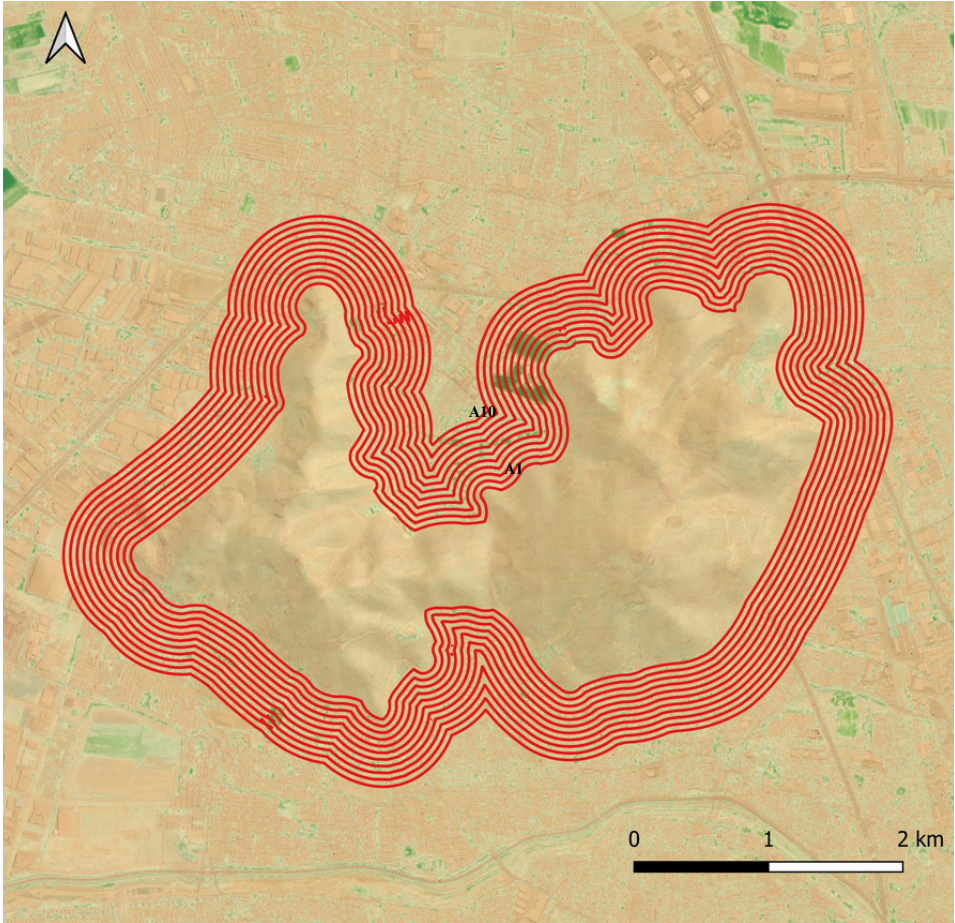


Figura 68. Anillos en buffer NDVI cerro Renca, elaboración propia.

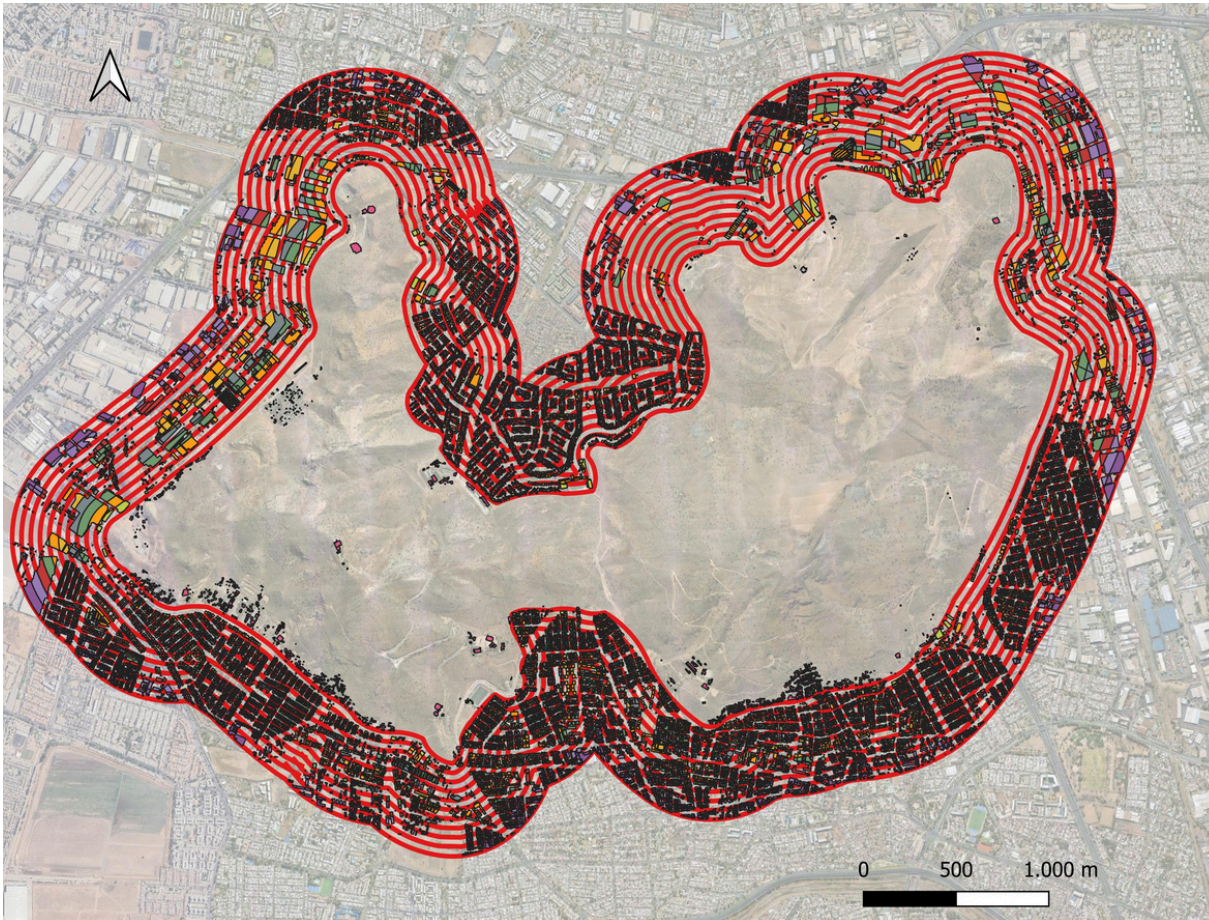


Figura 69. Anillos buffer IOS Cerro Renca, elaboración propia

ÍNDICE DE OCUPACION DE SUELO ANILLOS CERRO RENCA

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
IOS anillos	18%	30%	34%	31%	30%	30%	29%	29%	31%	32%
IOS cerro	0,99%									
Distancia (m)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
IOS buffer	29%									

Tabla 38. IOS media anillos concéntricos Cerro Renca, elaboración propia.

9.7 Relación de variables caso 1-Anillos concéntricos

9.7.1 Cerro Hasbún/ Santa Lucía LST media por anillos

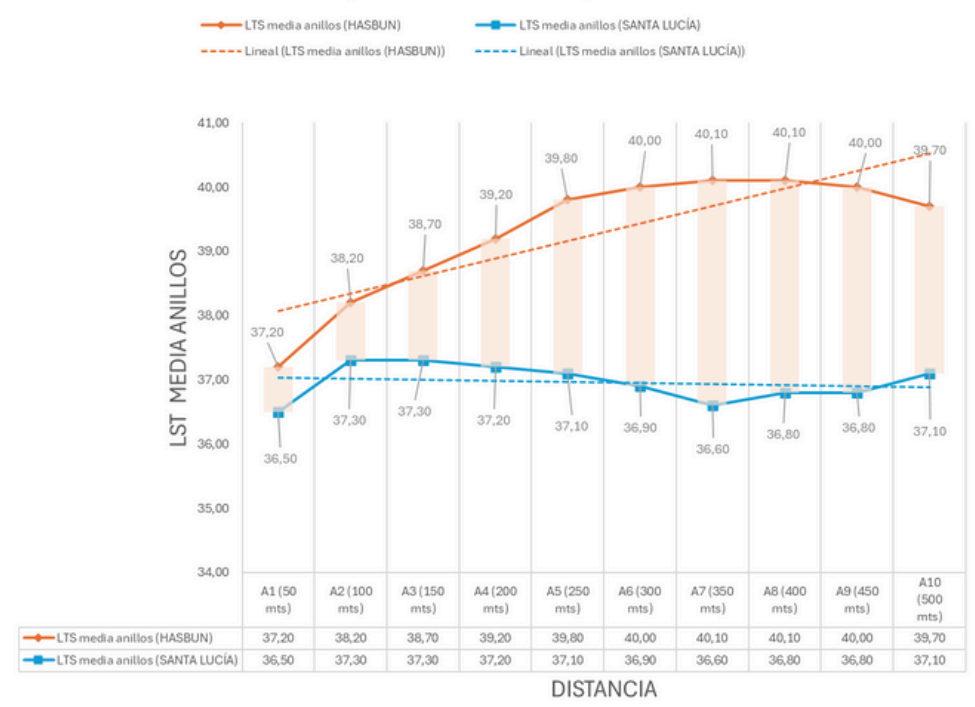


Gráfico 01. Comportamiento LST Cerros Hasbún-Santa Lucía, elaboración propia.

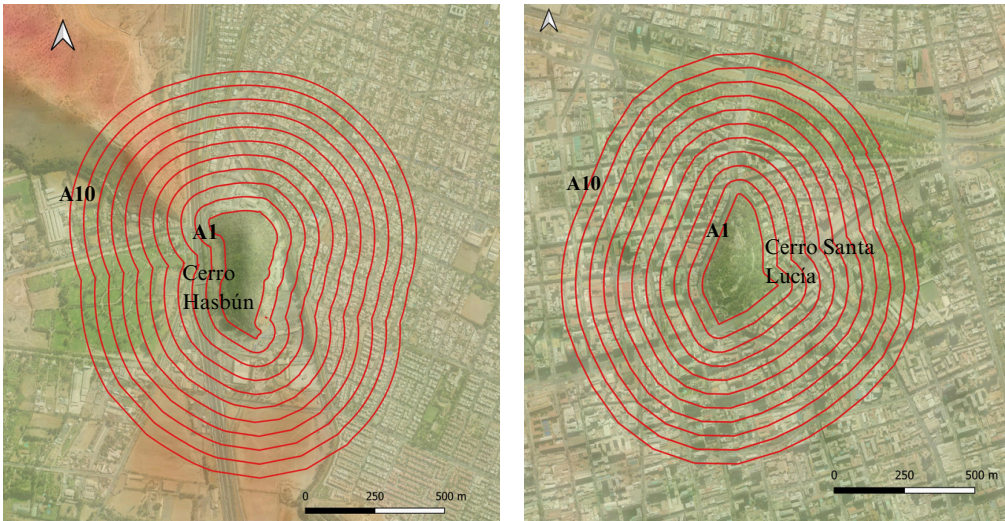


Figura 70. LST Cerros Hasbún-Santa Lucía, elaboración propia.

9.7.2 Cerro Hasbún/ Santa Lucía NDVI media por anillos

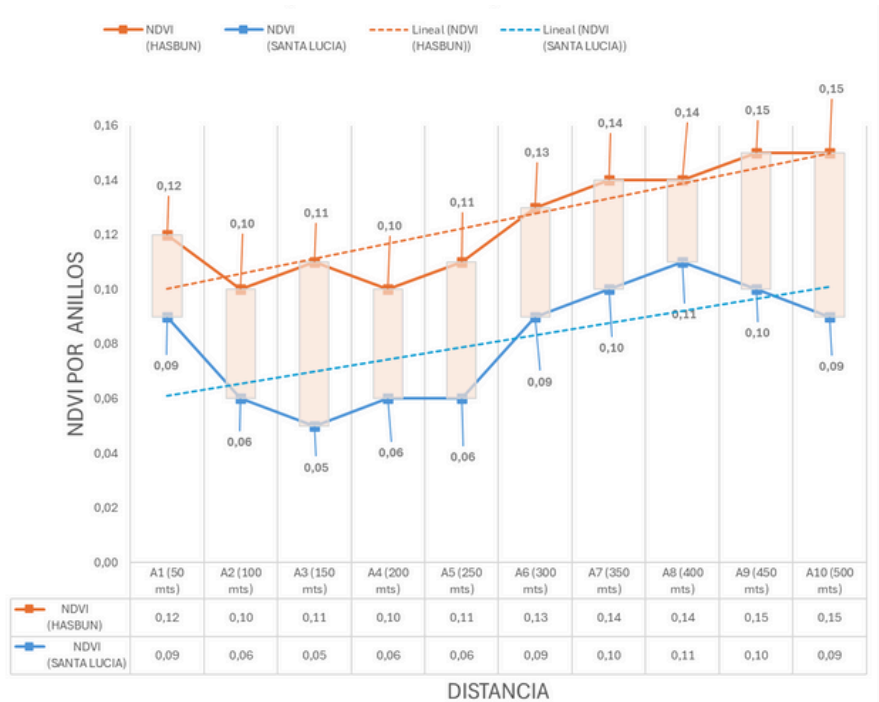


Gráfico 02. Comportamiento NDVI cerros Hasbún-Santa Lucía, elaboración propia.

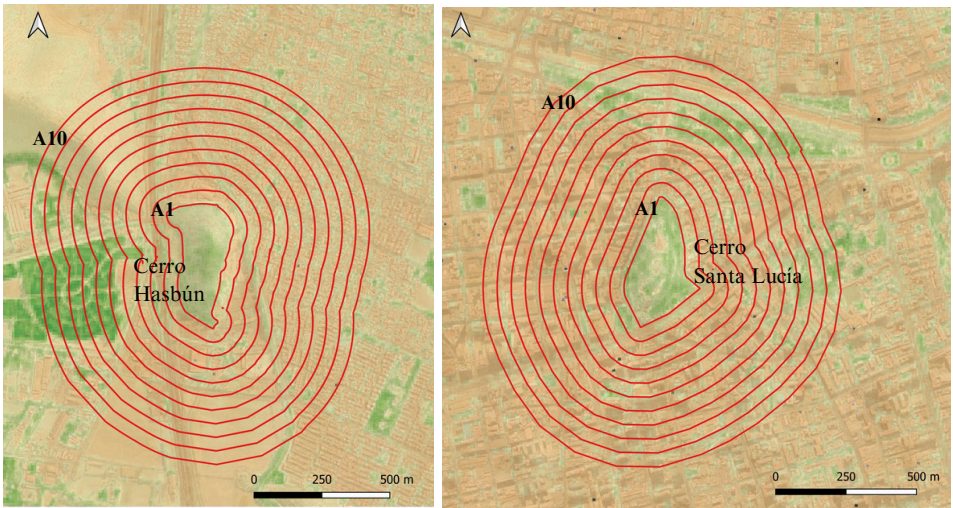


Figura 71. NDVI Cerros Hasbún-Santa Lucía, elaboración propia.

9.7.3 Cerro Hasbún/ Santa Lucía, relación LST e índice de ocupación de suelo (IOS)

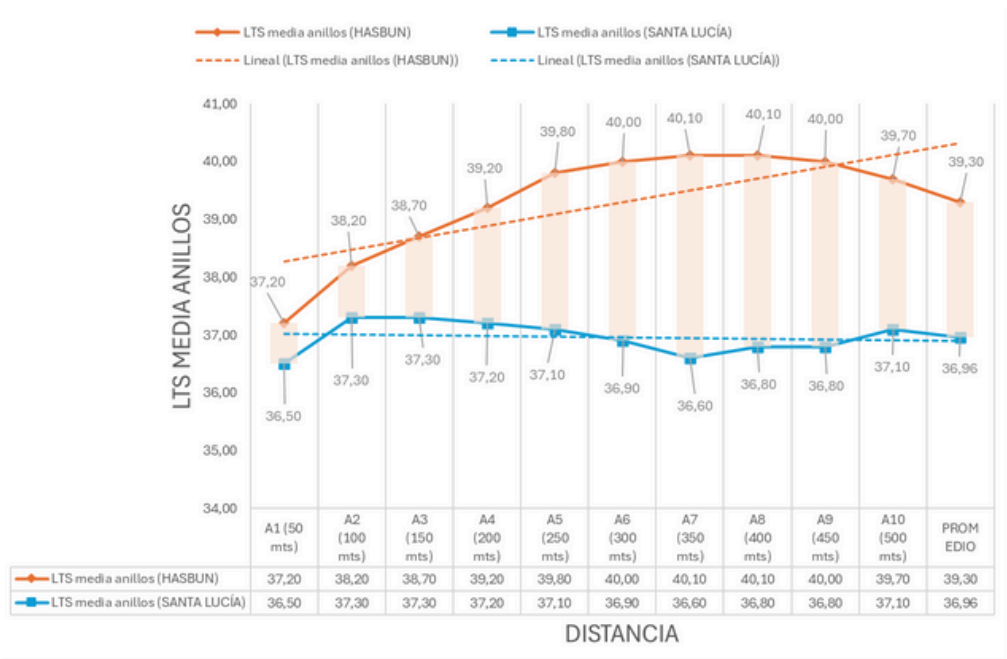


Gráfico 03. Comportamiento LST Cerros Hasbún-Santa Lucía, elaboración propia.

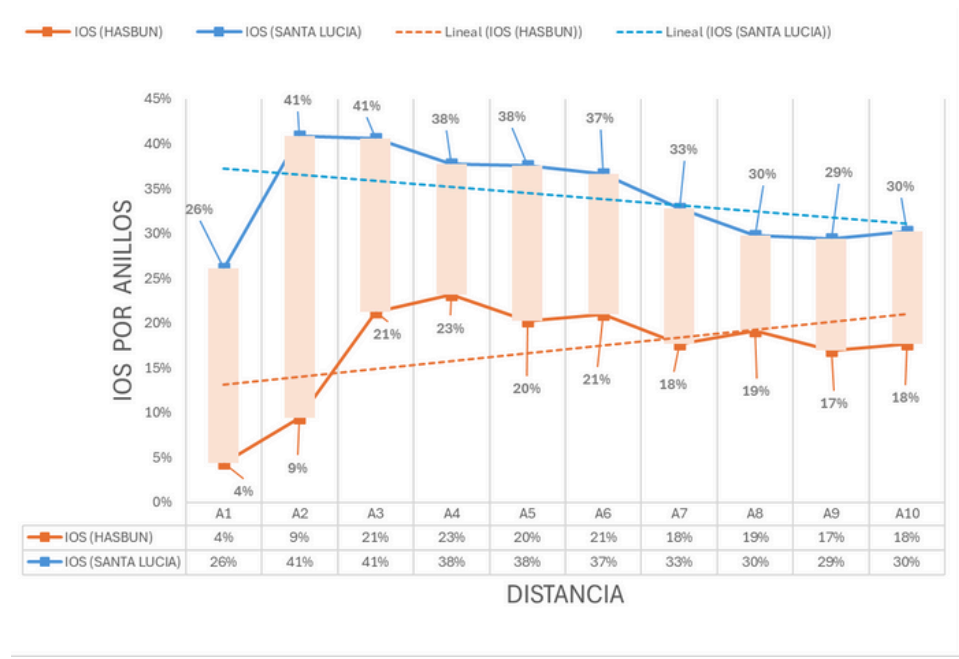


Gráfico 04. IOS media en Cerros Hasbún-Santa Lucía, elaboración propia.

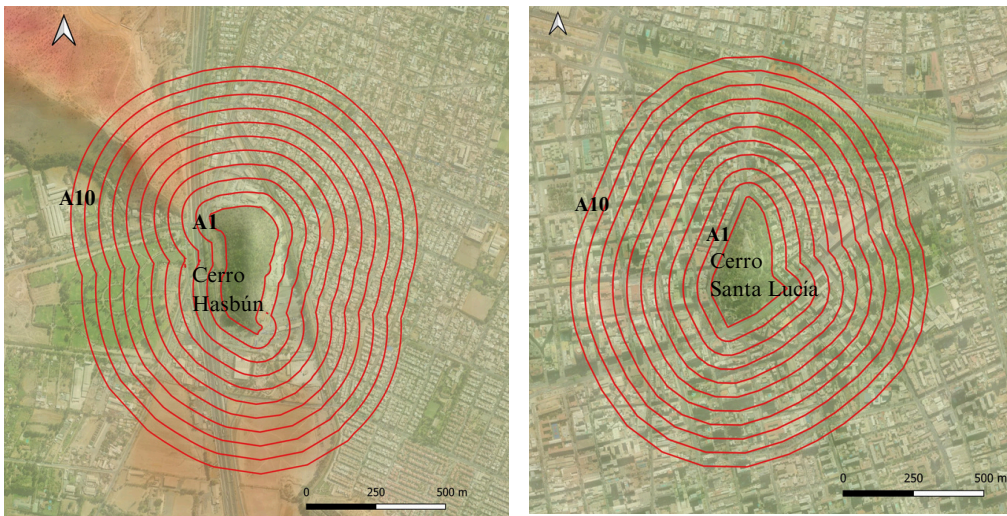


Figura 72. LST Cerros Hasbún-Santa Lucía, elaboración propia.

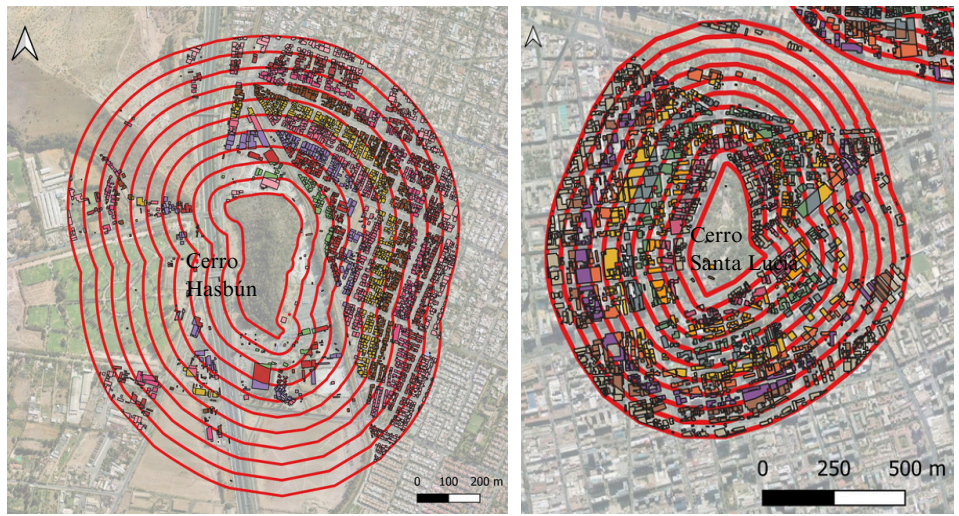


Figura 73. IOS Cerros Hasbún-Santa Lucía, elaboración propia.

Respecto del caso 1, se puede desprender que Cerro Santa Lucía, con una media de NDVI moderado (0.26), promedia una temperatura superficial de 34,5 grados, respecto de la media de su zona buffer, donde su temperatura superficial promedia 36,9 grados. Ello implica que la intensidad de enfriamiento de Cerro Santa Lucía es de 2,4 grados. Respecto de su capacidad de extensión, puede observarse que la temperatura se eleva al pasar al anillo dos, lo cual indica que el límite de extensión de su efecto de enfriamiento es de 50 metros desde el enclave hacia el anillo 1. A pesar de ello, se observa que el comportamiento de la temperatura superficial a lo largo del buffer de 500 metros es bastante estable y que las reducciones en esta se deben principalmente al NDVI e IOS. Como puede observarse en gráfico 2 y figura 70, los anillos 7, 8 y 9 son aquellos que presentan mayores índices de NDVI al contener dos parques urbanos de relevancia, los cuales estabilizan la temperatura superficial. Respecto al IOS, se observa que hay una relación directa, puesto que el anillo 1 posee una media de temperatura superficial de 0,8 grados Celsius menor al anillo 2, que cuenta con un coeficiente de ocupación 57,7% superior respecto del anillo anterior, además de presentar una de las máximas temperaturas registradas dentro del buffer (37,3 grados Celsius) con un IOS del 41% (gráfico 04).

Con respecto a Cerro Hasbún, el cual posee un NDVI moderado (0.23), se observa que el promedio de la LST del enclave es de 35,2 grados Celsius y la temperatura superficial media de su buffer es de 39,6; por lo tanto, posee una intensidad de enfriamiento de 4,4 grados Celsius y una extensión de enfriamiento de 250 metros, la cual se explica en la estabilidad de la temperatura a partir del anillo 5 (Gráfico 01).

La intensidad de enfriamiento de Cerro Hasbún, que casi duplica a Cerro San Cristóbal, se relaciona principalmente al IOS, puesto que en el caso de Cerro Hasbún, al encontrarse en un sector periférico de la ciudad, su buffer comprende presencia de grandes paños libres de edificación. Respecto de la relación LST/ NDVI en el sistema de anillos concéntricos, se observa que, a diferencia de Cerro Santa Lucía, existe una relación directa entre temperatura y NDVI; ello se explicaría ya que dentro de los primeros 5 anillos, donde hay menores índices de NDVI, hay menores temperaturas, validando la influencia

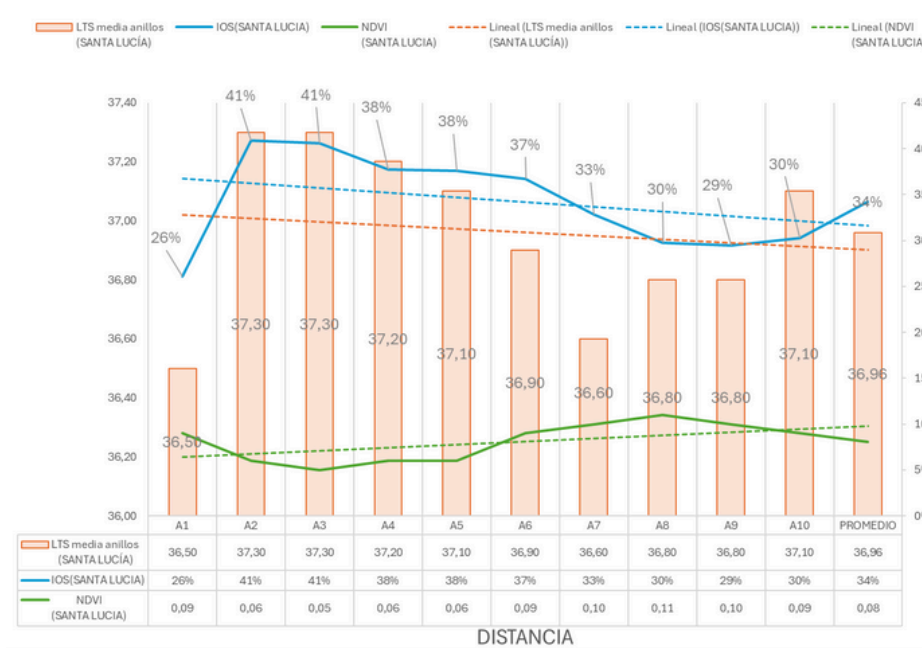


Gráfico 05. Relación variables cerro Santa Lucía, elaboración propia.

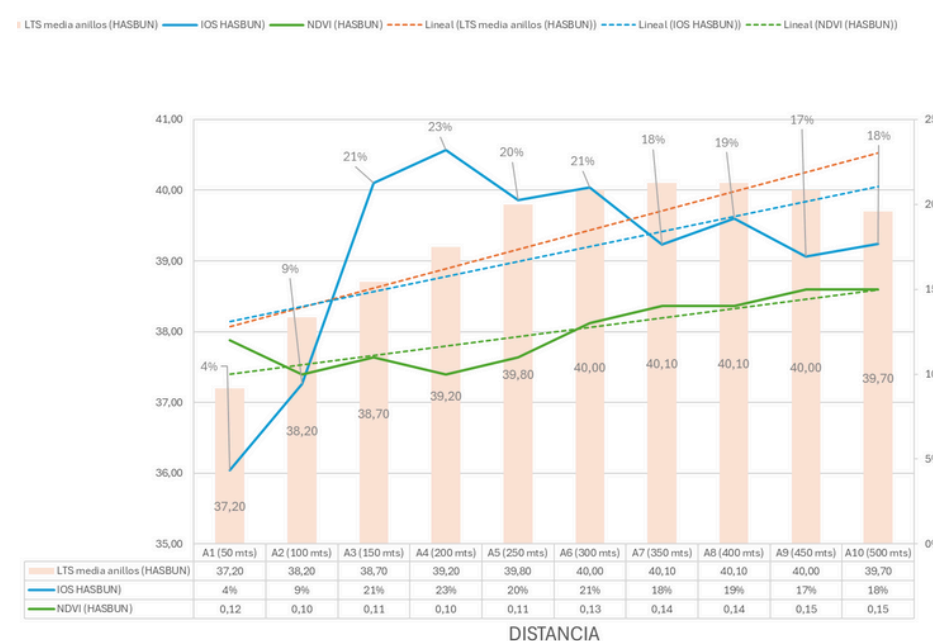


Gráfico 06. Relación variables cerro Hasbún, elaboración propia.

del cerro y el bajo IOS, por otra parte, el aumento en las temperaturas que se observa a partir del anillo 6 al 10, donde se concentran los mayores niveles de NDVI, se explicaría porque esos anillos contienen el cementerio “*Sendero San Bernardo*”, una extensa explanada verde cuya presencia distorsiona los resultados en la media del buffer.

Respecto del IOS, se observa su irregularidad, al tratarse de un cerro que se emplaza en un sector periférico, ello podría significar una distorsión al momento de interpretar los resultados. Se observa que desde el anillo 6 al anillo 9, se registran las temperaturas más altas y constantes (40 grados Celsius), donde los índices de ocupación de suelo oscilan entre el 17% y 21% (gráfico 06), ello podría explicarse por la elevada LST que se observa en sitios eriazos (figura 70),

9.7.4 Relación de variables caso 1-Transectos

Con el objetivo de complementar lo observado, se desarrollan transectos a modo de relacionar con mayor precisión las variables observadas por cada enclave y obtener así conclusiones más certeras respecto de la capacidad de enfriamiento de los enclaves contenidos en el caso 1.

Para el desarrollo del análisis en Qgis, se prepara un archivo, el cual contiene las capas ráster de LST, NDVI, Google satélite sobre la cual se construye una capa de información donde se identifica la superficie construida y no construida dentro del buffer de 500 metros correspondiente a cada CI.

Para el desarrollo de transectos, se desarrolla un modelo digital de terreno a partir de las cotas de nivel de la ciudad de Santiago de Chile, para el desarrollo de un mapa de sombras de manera de identificar la proyección e incidencia de estas sobre la LST a lo largo del transecto. Respecto del comportamiento de la LST en el transecto A-A” (figura 74), en relación a las variables estudiadas, se observa en gráfico 07 , 08 y 09, que la LST nuevamente cumple una relación inversa con el NDVI, puesto que los sectores del transecto que presentan mayores índices de NDVI son aquellos donde se observan caídas de temperatura considerables, asociándose principalmente al Cerro Santa Lucía y al Parque Forestal, que se encuentra próximo.



Figura 74. Transecto A.A” Cerro Santa Lucía, elaboración propia.

El paso del transecto a través del Parque Forestal evidencia la capacidad de la infraestructura verde de reducir la LST, puesto que se registra uno de los puntos más bajos de temperatura fuera del cerro. El Cerro Santa Lucía también registra una mínima dentro del transecto, la cual se explica por su condición de cerro parque, altamente arborizado. Respecto del IOS, se observa que, a través del sector norte del cerro, la tipología edificatoria es similar al sector sur; sin embargo, el sector sur cuenta con una LST mayor, al no contar con la presencia del Parque Forestal.

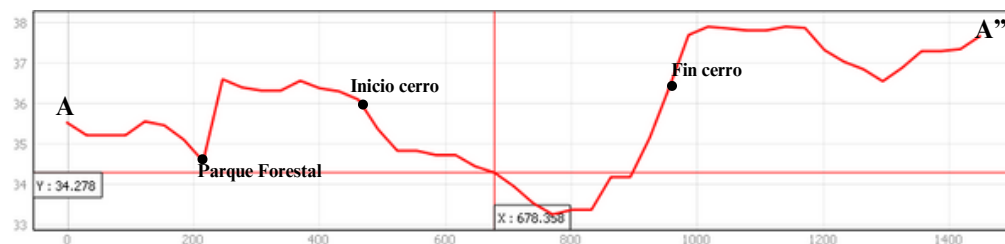


Gráfico 07. LST transecto A-A'' cerro Santa Lucía, elaboración propia.

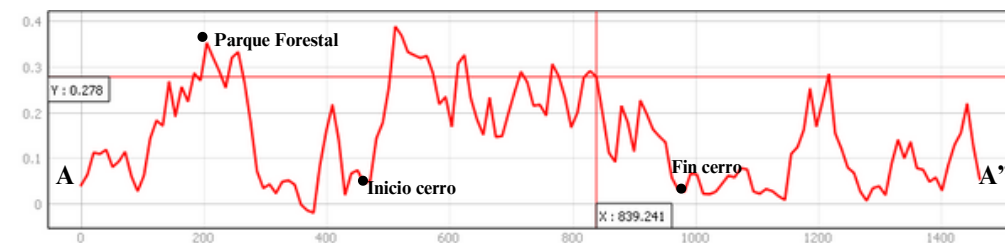


Gráfico 08. NDVI transecto A-A'' cerro Santa Lucía, elaboración propia.

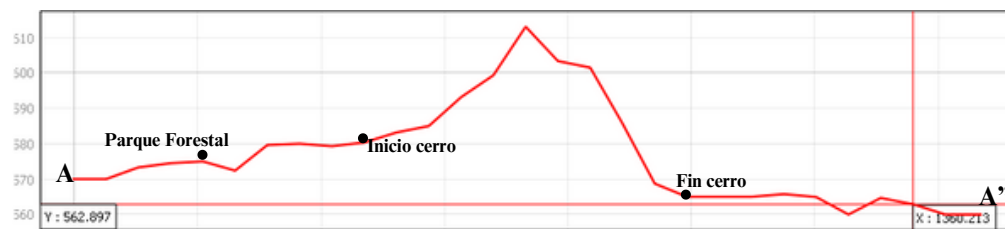


Gráfico 09. Alturas transecto A-A'' cerro Santa Lucía, elaboración propia.

Respecto de la capacidad de extensión de enfriamiento, se observa que, hacia el sector norte, el cerro mantiene una LST estable de 36 grados hasta llegar al Parque Forestal, donde la temperatura cae. Ello corresponde a cuatro anillos, por lo tanto a 200 metros lineales. Respecto a la capacidad de extensión de enfriamiento observable hacia el sector sur, se aprecia que se limita únicamente a la influencia del cerro en el anillo 1 (50m); ello puede explicarse por el alto índice de ocupación de suelo y escasez de arborización.

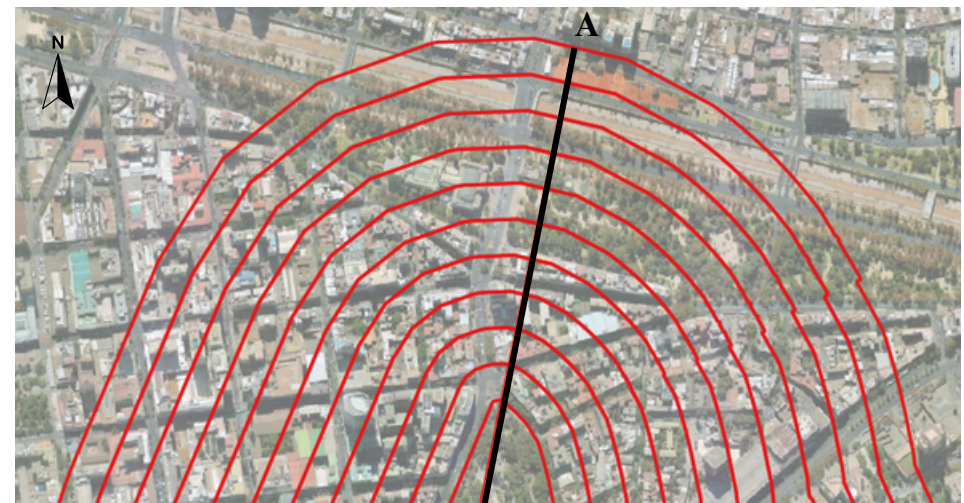


Figura 75. Transecto norte cerro Santa Lucía, elaboración propia

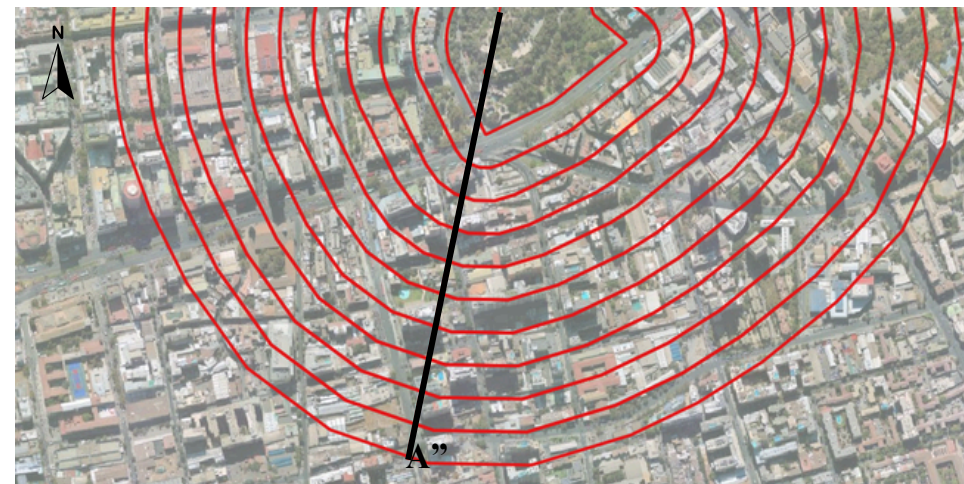


Figura 76. Transecto Sur cerro Santa Lucía, elaboración propia

A diferencia de Cerro Santa Lucía, Hasbún se emplaza en un sector periférico de la ciudad, por lo cual su condición de borde es muy diversa en el oriente como en el poniente, siendo la autopista central y el canal Lo Espejo, dos ejes que contienen la urbanización oriente-poniente y potencian la condición de insularidad del cerro. La situación del cerro respecto de sus laderas oriente y poniente es muy diversa y ello podría explicar ciertas distorsiones en la metodología de anillos concéntricos relacionadas con las variables. Para abordar de forma más detallada el comportamiento de la LST, se analiza el transecto B-B'' (figura 77), donde se puede observar que la extensión en el efecto de enfriamiento del parque no se cumple, ello debido a la proximidad de la Autopista Central que aumenta rápidamente la LST en dos grados Celsius para posteriormente llegar a una máxima de 38 grados Celsius en la subestación eléctrica. La LST cae conforme pasa sobre el parque cementerio, donde presenta sus mínimas.

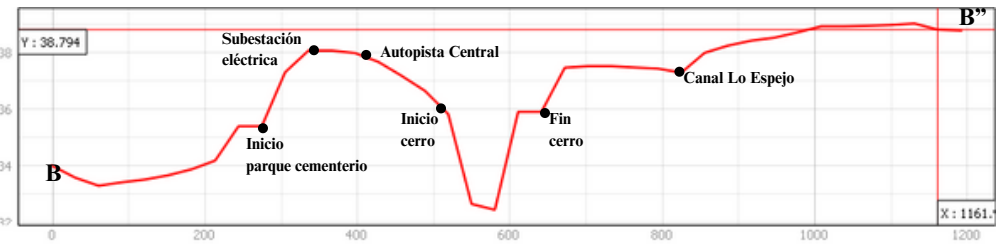


Gráfico 10. LST transecto B-B'' cerro Hasbún, elaboración propia.

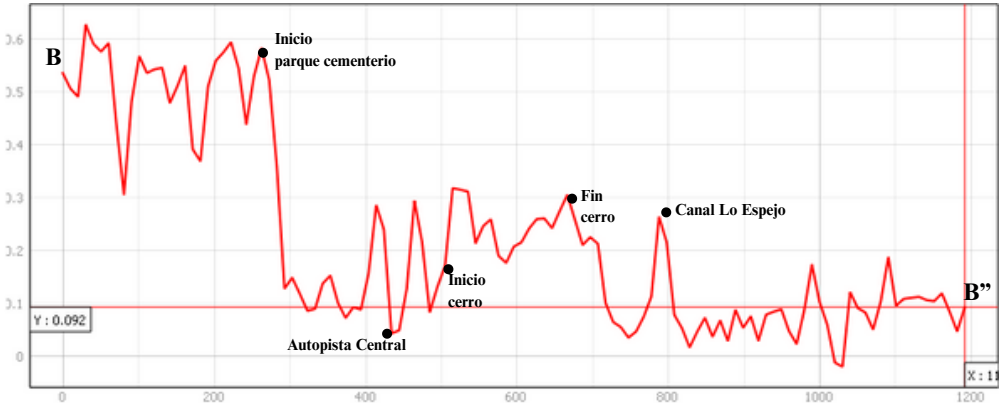


Gráfico 11. NDVI transecto B-B'' cerro Hasbún, elaboración propia.

Hacia el sector oriente, el aumento de temperatura es más abrupto. A pesar de no haber edificaciones, existe la presencia de hormigón dentro de los tres primeros anillos concéntricos; ello significa un aumento en dos grados Celsius de la LST, reduciendo la capacidad del cerro de extender su efecto de enfriamiento. Se observa una pequeña caída atribuida al canal Lo Espejo y posteriormente se observa un alza constante al llegar al final del transecto, donde el coeficiente de ocupación de suelo es mayor.

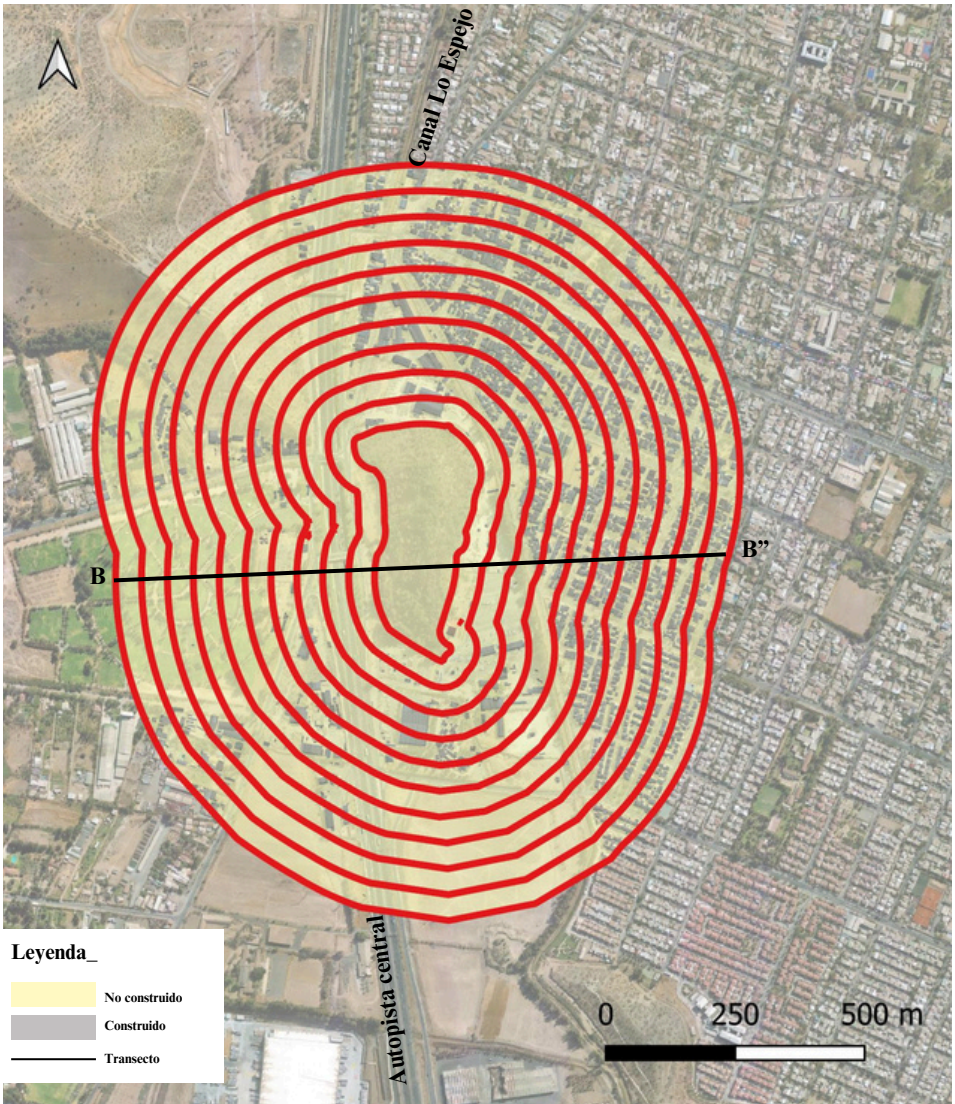


Figura 77. Transecto B.B'' Cerro Hasbún, elaboración propia.

Correlacionando la información con el mapa de sombras, se observa que el anillo 1 y parte del anillo 2 de Cerro Hasbún (figura 78) se ven influenciados por la sombra proyectada del cerro hacia el poniente; ello explicaría que, a pesar de la presencia de la autopista, la temperatura es inferior a 38 grados Celsius (gráfico 10).

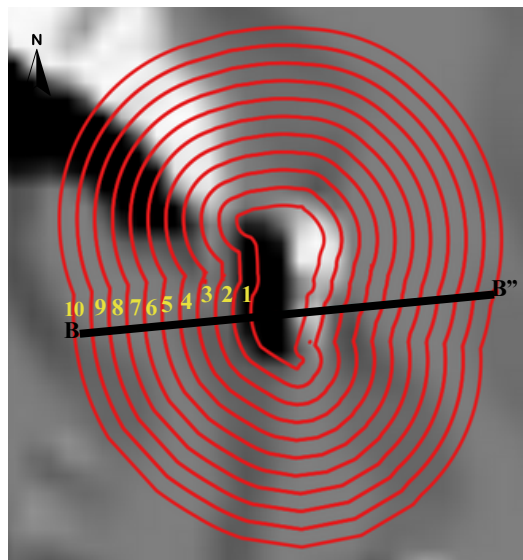


Figura 78. Mapa de sombras Cerro Hasbún, elaboración propia.

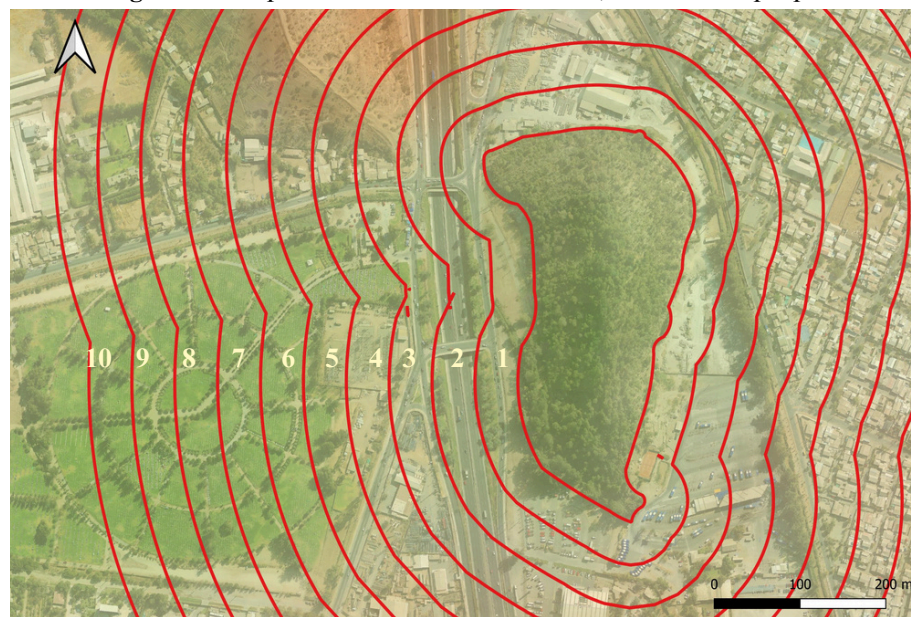


Figura 79. Influencia de sombras, Cerro Hasbún, elaboración propia.

La sombra proyectada en Cerro Santa Lucía también corresponde a un factor que reduce la temperatura en su anillo 1 (figura 80) la cual podría distorsionar la media de LST en el cerro.

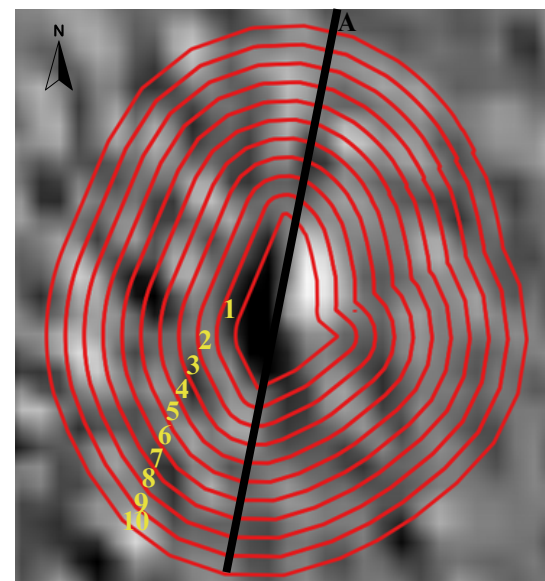


Figura 80. Mapa de sombras Cerro Santa Lucía, elaboración propia.



Figura 81. LST modelo de sombras, Cerro Santa Lucía, elaboración propia.

9.8 Relación de variables caso 2, anillos concéntricos

9.8.1 Cerro San Cristóbal / Renca, LST media por anillos

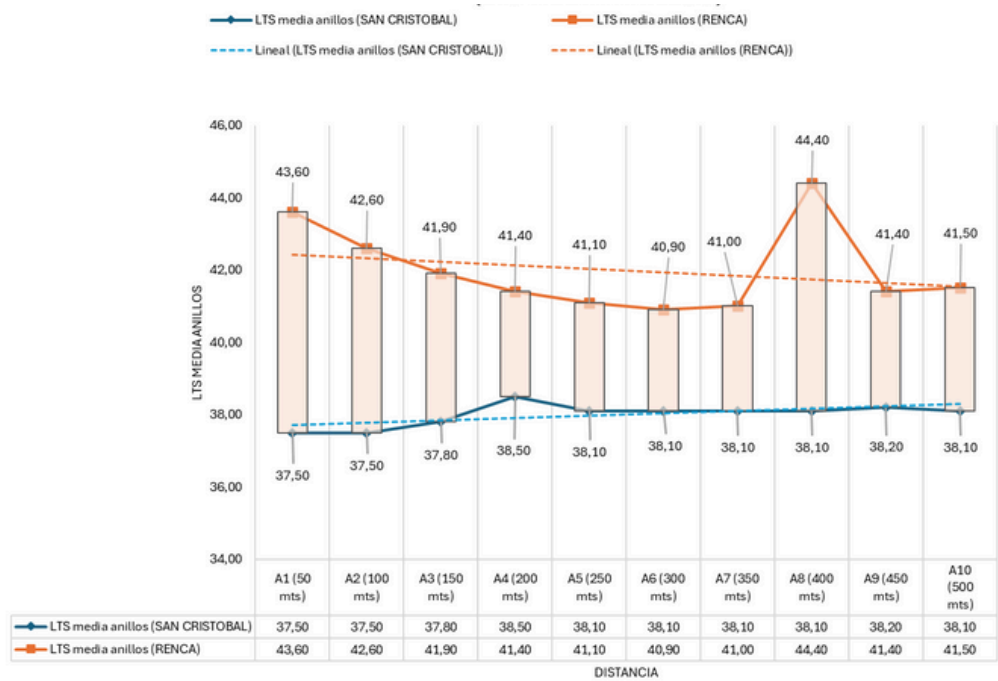


Gráfico 12. Comportamiento LST Cerros San Cristóbal- Renca, elaboración propia.

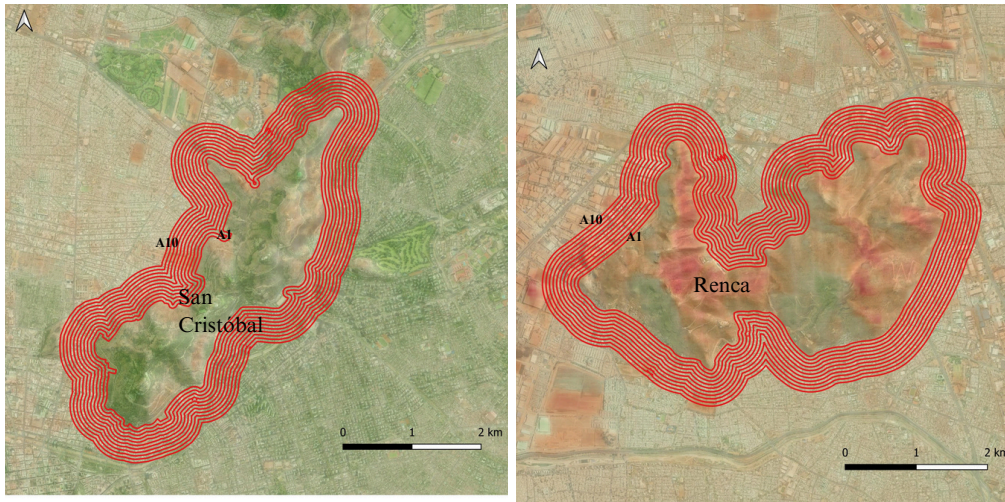


Figura 82. LST Cerros San Cristóbal-Renca, elaboración propia.

9.8.2 Cerro San Cristóbal / Renca, NDVI media por anillos

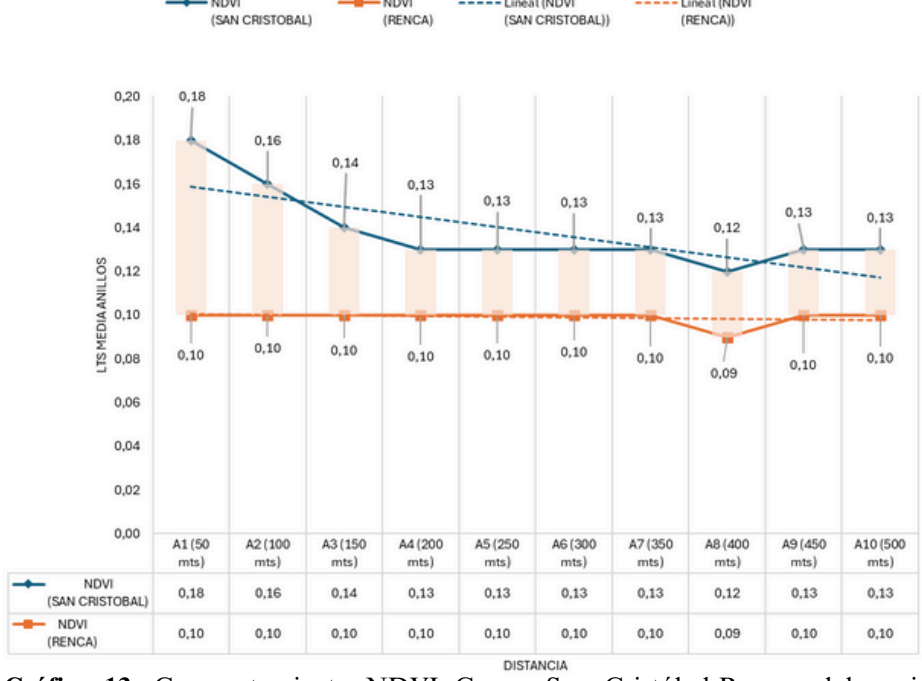


Gráfico 13. Comportamiento NDVI Cerros San Cristóbal-Renca, elaboración propia.

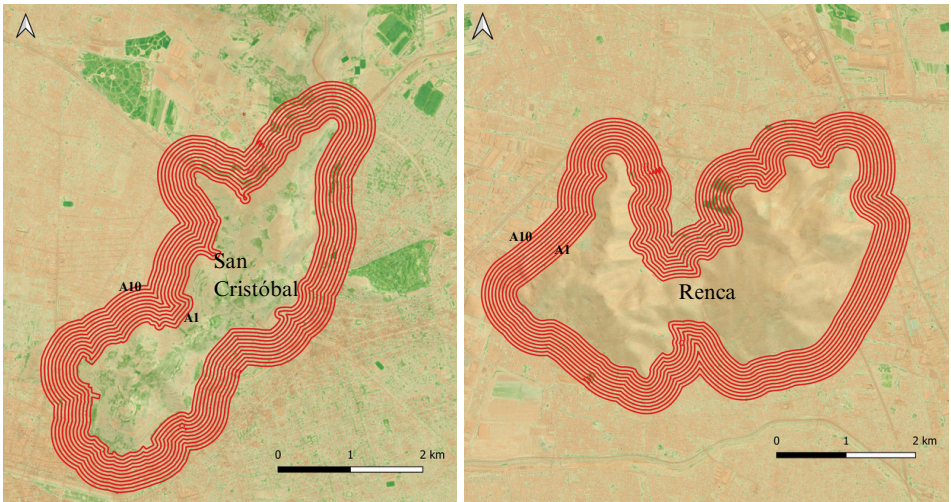


Figura 83. NDVI Cerros San Cristóbal-Renca, elaboración propia.

9.8.3 Cerro San Cristóbal/ Renca, relación LST e índice de ocupación de suelo (IOS)

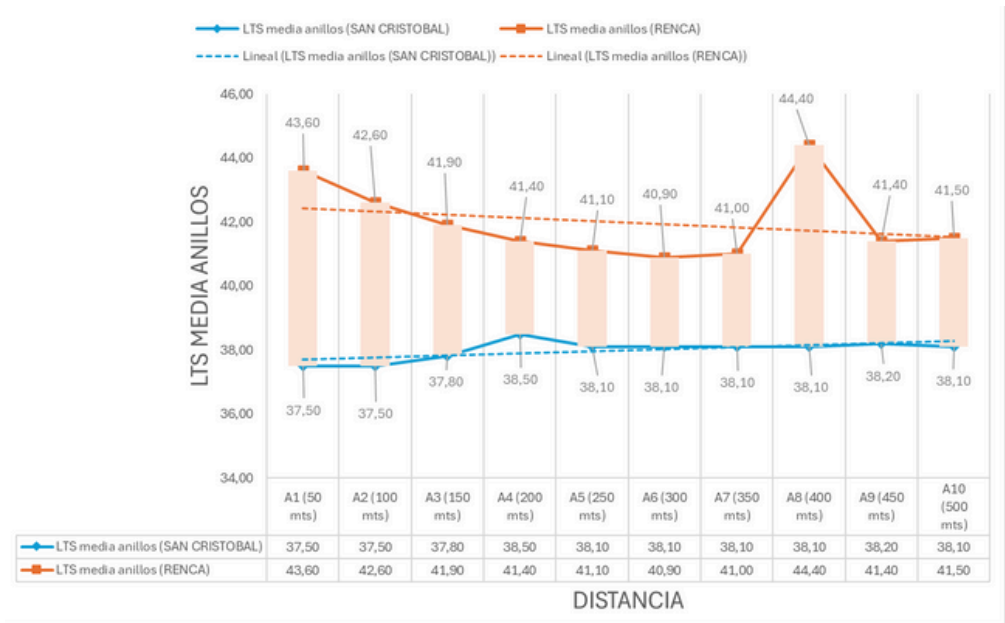


Gráfico 14. Comportamiento LST Cerros San Cristóbal- Renca, elaboración propia.

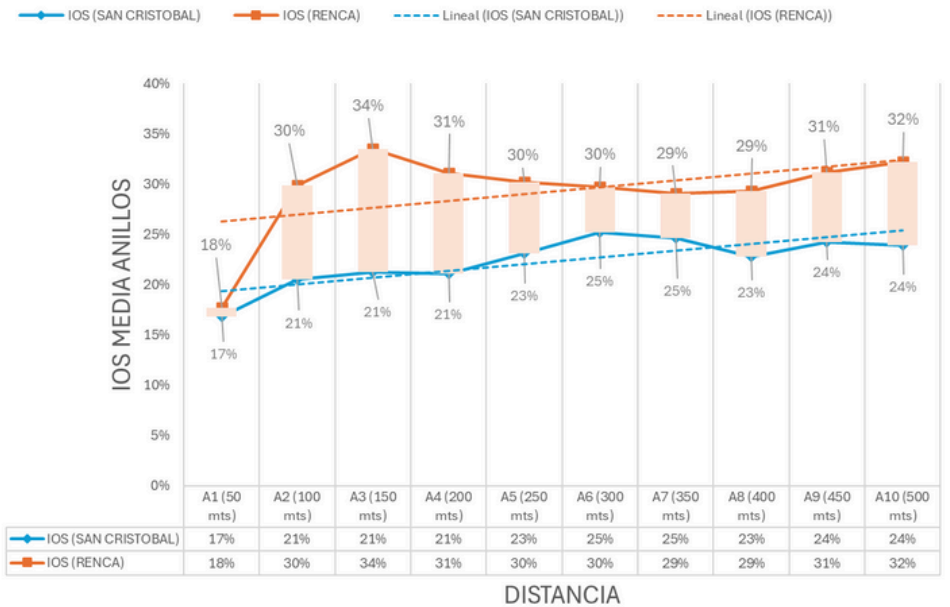


Gráfico 15. IOS media en Cerros San Cristóbal-Renca, elaboración propia.

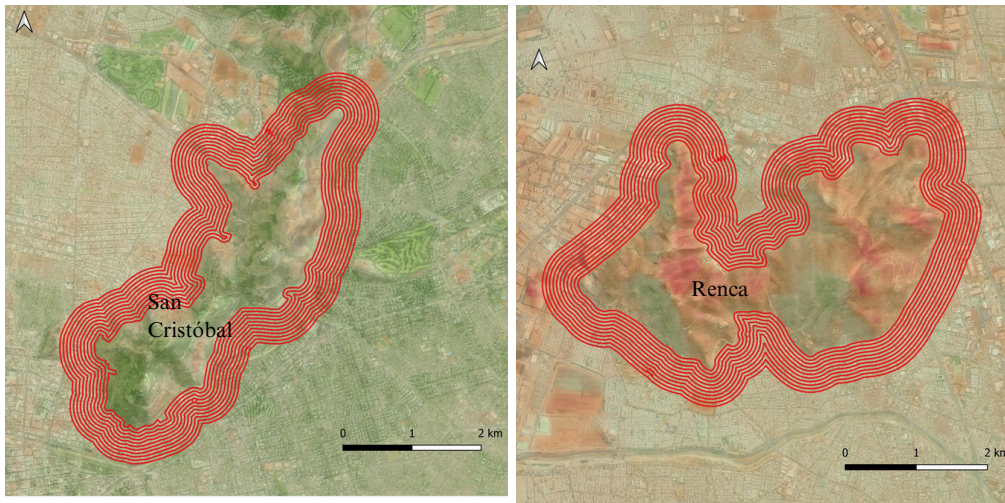


Figura 84. LST Cerros San Cristóbal-Renca, elaboración propia.



Figura 85. IOS Cerros San Cristóbal-Renca, elaboración propia.

Respecto del caso 2, se puede desprender que Cerro San Cristóbal, con una media de NDVI bajo (0.19), promedia una LST de 37,4 grados, respecto de la media de su zona buffer, donde su LST promedia 38 grados. Ello implica que la intensidad de enfriamiento del cerro San Cristóbal es de 0,6 grados. Respecto de su capacidad de extensión, puede observarse que la temperatura se eleva al pasar al anillo tres, lo cual indica que el límite de extensión de su efecto de enfriamiento es de 150 metros desde el enclave hacia el anillo 3. Se observa que el comportamiento de la LST a lo largo del buffer de 500 metros es estable, al igual que su NDVI. Respecto del IOS, se observa una relación directamente proporcional a LST, puesto que dentro del buffer, el IOS no supera el 25%, así como las LST no superan los 38,5 grados Celsius (gráfico 16).

Con respecto a Cerro Renca, el cual posee un NDVI muy bajo (0.09), que se atribuye a muy escasa vegetación y mayoritariamente suelos desnudos, se observa que el promedio de la LST del enclave es considerablemente mayor (44,8 grados Celsius), y la LST media de su buffer es de 42 grados Celsius. Por lo tanto, nos encontramos frente a un enclave cuya media de LST es 2,8 grados Celsius superior a su buffer, actuando como un foco de calor, cuya influencia se evidencia en el comportamiento de la LST a lo largo de los anillos. Desde el anillo 1 al anillo 6, la LST presenta un constante descenso, hasta el anillo 8, donde la LST vuelve a subir ante la presencia de numerosos polígonos industriales (gráfico 17). Respecto de la relación entre LST y el índice de ocupación de suelo, se observa una influencia directa del enclave sobre los anillos, sobre todo sobre el anillo 1, puesto que es el que posee el menor IOS; sin embargo, registra una de las temperaturas más altas dentro del buffer (43,6 grados Celsius). A partir del anillo 2, el comportamiento de la LST comienza a reducirse, conforme hay mayor distancia al cerro, hasta llegar al anillo 6 (300 m). posteriormente, la temperatura aumenta a pesar de que los índices de ocupación de suelo son similares en todos los anillos; ello podría atribuirse a una mayor presencia de polígonos industriales contenidos en los mismos. Lo observado en A1, evidencia la enorme influencia del Cerro Renca en la LST más próxima y, por tanto, el riesgo climático al que se exponen quienes habitan en las proximidades de este enclave.

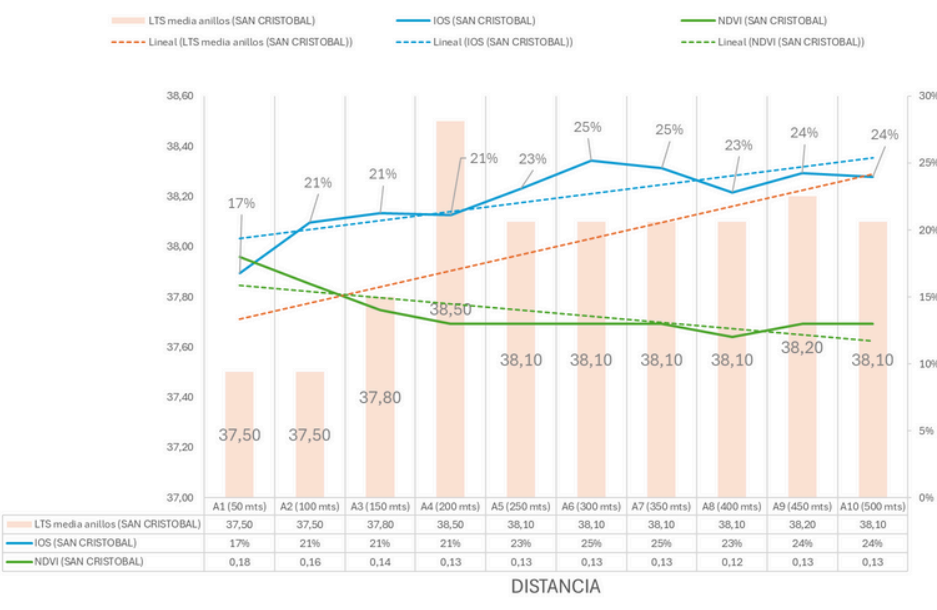


Gráfico 16. Relación variables cerro San Cristóbal, elaboración propia.

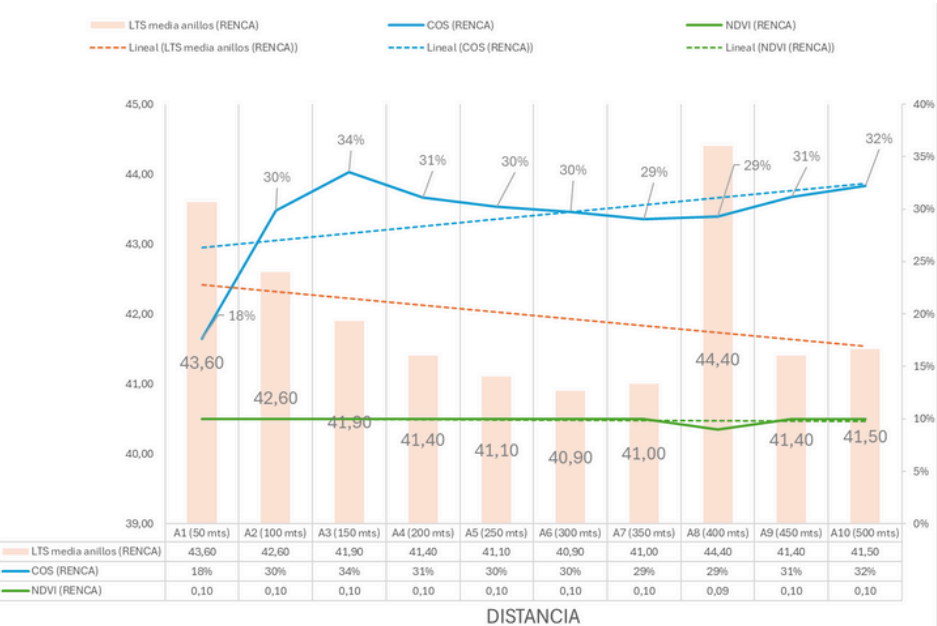


Gráfico 17. Relación variables cerro Renca, elaboración propia.

9.8.4 Relación de variables caso 2-Transectos

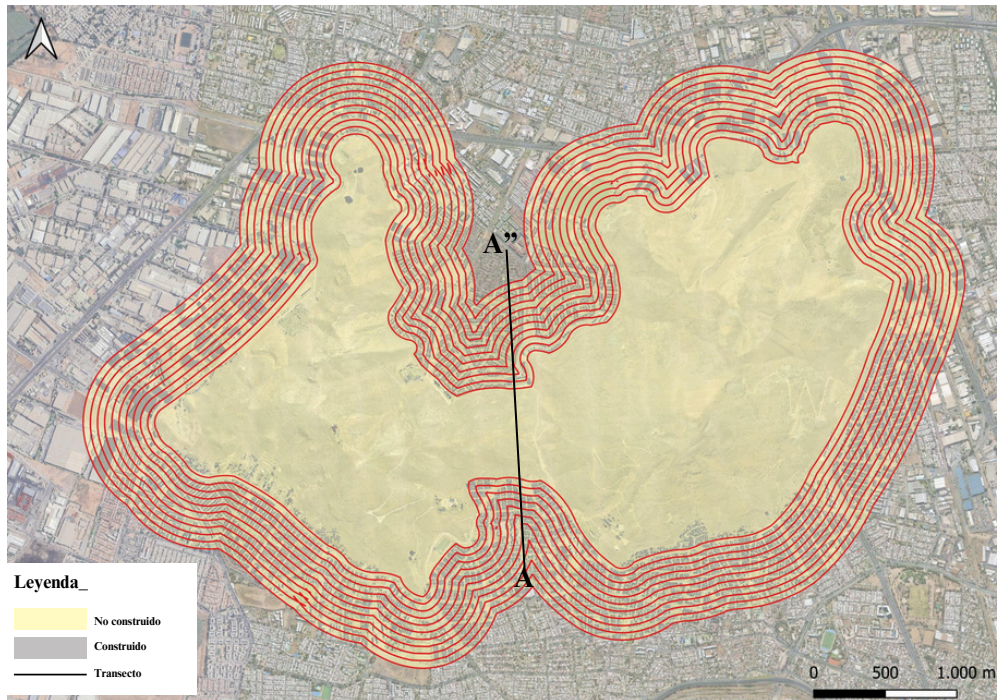


Figura 86. Transecto A-A'' Cerro Renca, elaboración propia

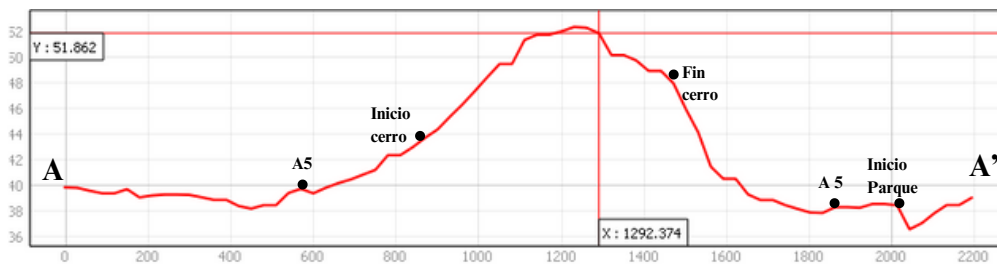


Gráfico 18. LST Transecto A-A, Cerro Renca, elaboración propia



Gráfico 19. NDVI Transecto A-A, Cerro Renca, elaboración propia

El transecto A-A'' (figura 86) refleja la heterogeneidad urbana donde se inserta el Cerro Renca. El inicio del transecto representa una zona donde hay mezcla de viviendas informales y formales, con IOS altos, emplazados hacia la zona sur. Hacia el norte, se encuentra el condominio “Lo Campino”, una urbanización planificada, con calles ajardinadas y áreas verdes, poco representativa de la realidad comunal (figura 87). Como puede observarse en el gráfico 18, a partir del anillo 5 (A5) inicia un alza progresiva de temperatura superficial hasta llegar al inicio del Cerro Renca, donde la temperatura superficial aumenta considerablemente en relación con su escaso o nulo NDVI que se evidencia en suelos desnudos con escasa vegetación xerófita. Respecto del sector norte (gráfico 18), se evidencia un descenso de la temperatura superficial de 9 grados desde el fin del cerro al final del transecto (500 metros). Se observa también que a partir del anillo 5 (250 m) deja de descender la temperatura superficial respecto del cerro. Comparando el comportamiento de la temperatura superficial hacia el sector sur, se observa que esta desciende solamente 4 grados desde el anillo 1 al anillo 10 (500 metros).

El transecto permite visibilizar que el cerro Renca, debido a su gran extensión y superficie desnuda, posee un efecto inverso al esperado en una zona natural en medio de la ciudad, con una extensión de calentamiento que se observa hasta 250m. Se observa también que la capacidad de reacción del medio urbano es desigual y asociada principalmente al tipo de urbanización que enfrenta el enclave, ya que, como puede apreciarse en la figura 87, el sector norte posee índice de ocupación de suelo inferior, atribuido a una tipología de urbanización formal con calles planificadas, arborizadas y con presencia de áreas verdes, en contraste con el sector sur (figura 88), que responde a tipología urbana con informalidad, con alto índice de ocupación de suelo, calles sin arborización y con nula presencia de áreas verdes.

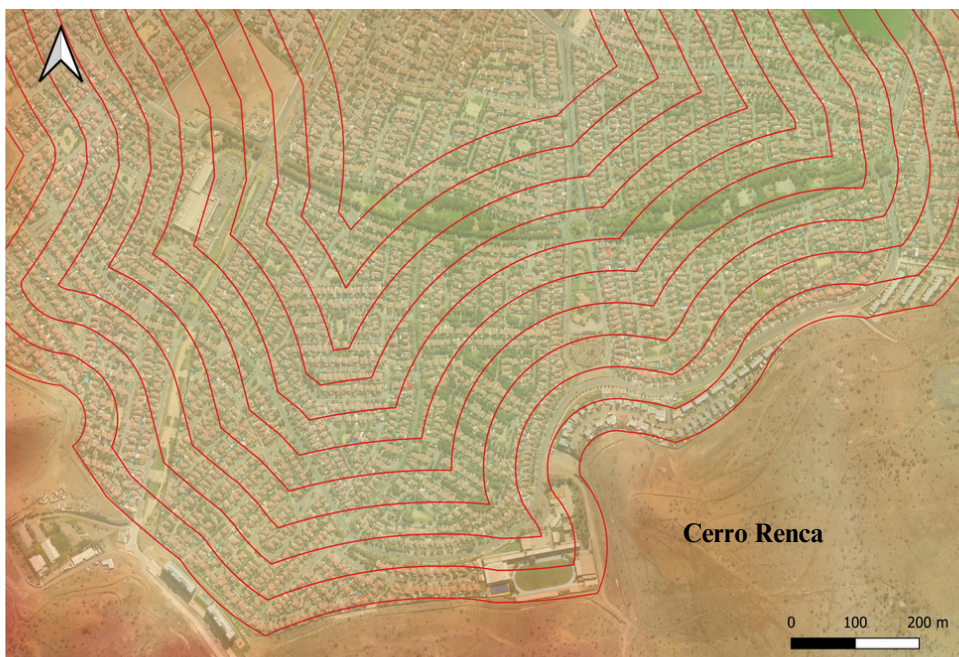


Figura 87. Sector norte, transecto Cerro Renca, elaboración propia

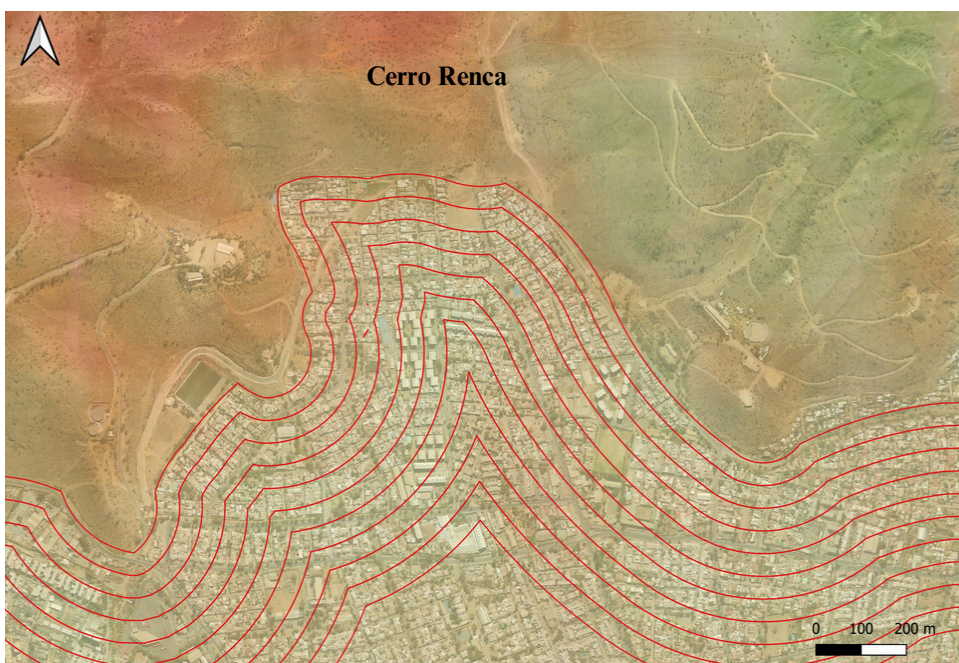


Figura 88. Sector sur transecto Cerro Renca, elaboración propia

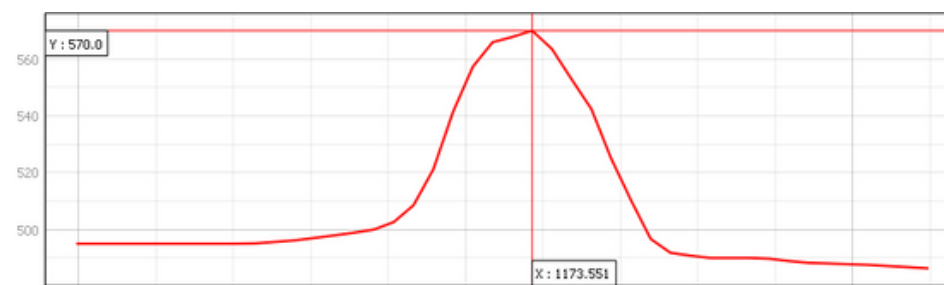


Gráfico 20. Alturas Transecto A-A, Cerro Renca, elaboración propia

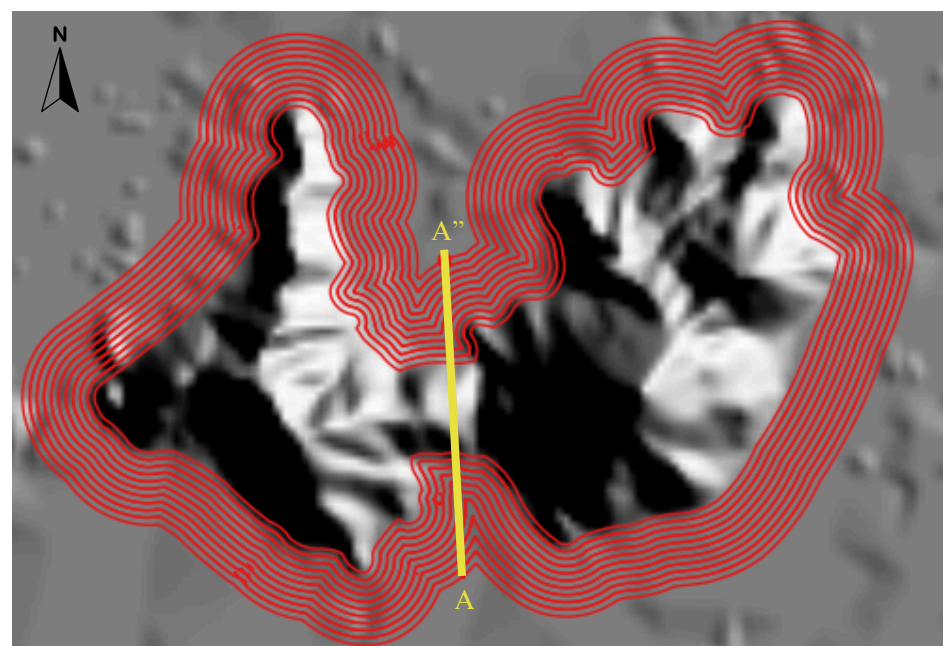


Figura 89. Mapa de sombras transecto A-A'', elaboración propia

De forma complementaria, se observa a través del mapa de sombras como las laderas norte se exponen a mayor radiación solar, que sumada a suelos desnudos o muy desprovistos de vegetación, explican las temperaturas superficiales sobre cincuenta grados Celsius, además de su influencia a lo largo del buffer.

Respecto del cerro San Cristóbal, el transecto A-A'' (figura 90) se traza a lo largo del buffer de 500 metros. Se observa que en el sector norte del transecto hay una notoria influencia del cerro en las temperaturas de los anillos 1 al 4 (figura 91). Desde el anillo número 5, la temperatura se estabiliza en 39 grados; ello se debe al índice de ocupación de suelo con escasa presencia de NDVI (gráficos 20, 21).



Figura 90. Transecto A-A'' Cerro San Cristóbal, elaboración propia



Figura 91. Influencia cerro San Cristóbal, elaboración propia

Respecto del sector sur comprendido dentro del buffer, el transecto muestra que hay un leve descenso desde el cerro hacia los anillos; ello podría explicarse por la tipología de suelo, al ser un barrio de tipología formal con amplias calles ajardinadas y NDVI superiores al sector norte.



Gráfico 21. LST Transecto A-A'', Cerro San Cristóbal, elaboración propia

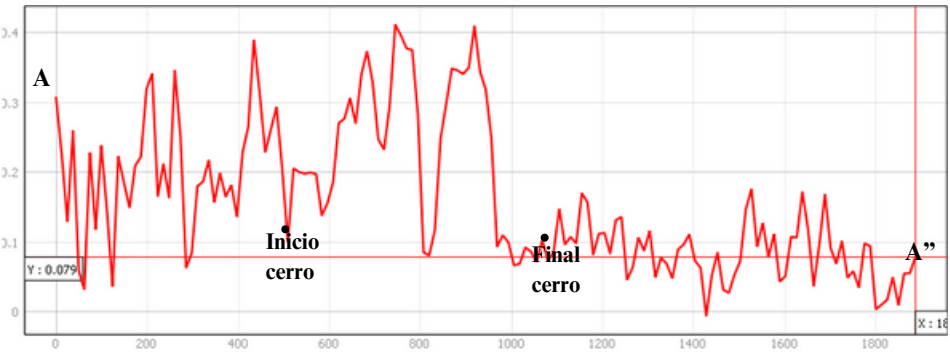


Gráfico 22. NDVI Transecto A-A'', Cerro San Cristóbal, elaboración propia

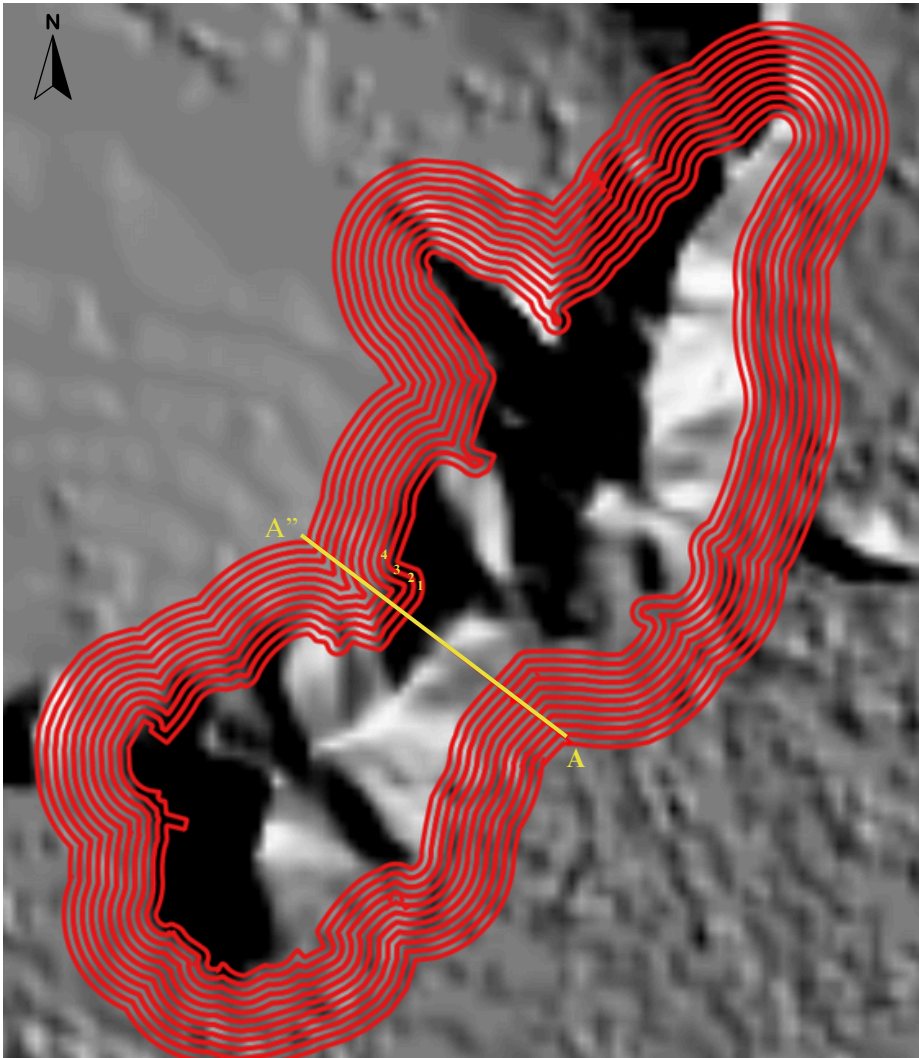


Figura 92. Mapa de sombras Cerro San Cristóbal, elaboración propia

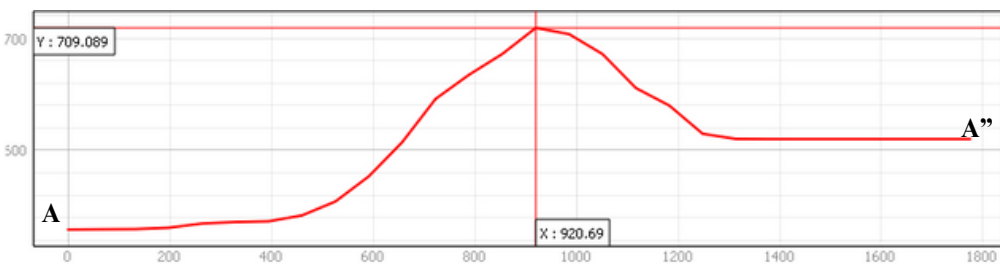


Gráfico 23. Alturas Transecto A-A'', Cerro San Cristóbal, elaboración propia

Al traslapar la información con el mapa de sombras, podemos observar que el comportamiento de la LST en la figura 92 se debe a la influencia del Cerro San Cristóbal, puesto que los anillos 1 al 4 se ven afectados por la proyección de la sombra del cerro, la cual se atribuye tanto a la morfología irregular del enclave como a las dimensiones del mismo.

9.9 Conclusiones de variables

En ambas metodologías puede observarse como el comportamiento de la LST se encuentra inversamente relacionado al NDVI; se observa en todos los casos que a mayor NDVI, la temperatura superficial será inferior. A pesar de la evidente relación entre estas variables, los valores de NDVI observados en todos los enclaves no son altos; ello puede atribuirse al estado de conservación de la vegetación expuesta a altos niveles de estrés hídrico o a las características propias de la vegetación de matorral, propia de las asociaciones vegetales originales de estos enclaves. Se observa que cerros como Hasbún, con un NDVI moderado de 0,23, y Santa Lucía, con un NDVI moderado de 0,26, median las menores LST (35,2 Y 34,5 respectivamente). En cambio, los cerros San Cristóbal, con un NDVI bajo de 0,19, y cerro Renca, con un NDVI extremadamente bajo de 0,09, median LST de 37,4 y 44,8 grados Celsius, respectivamente.

Respecto del comportamiento de la LST en relación a la superficie de los enclaves, se identifica primeramente la intensidad de enfriamiento que estos tienen. De acuerdo a estos datos expresados en las tablas 27, 30, 33 y 36, se concluye que el mayor efecto de enfriamiento lo otorga cerro Hasbún, con una diferencia de 4,4 grados Celsius respecto de su entorno, seguido de cerro Santa Lucía, con una diferencia de 2,4 grados respecto de su entorno. Los cerros que presentan una menor intensidad de enfriamiento son San Cristóbal con una diferencia de 0,6 grados Celsius respecto de su entorno y, finalmente, Cerro Renca, cuya capacidad de enfriamiento es de -2,88 grados Celsius; ello quiere decir que su media es superior a la media de su entorno.

respecto de la intensidad de enfriamiento, se observa que no hay una relación directa con la superficie del enclave, puesto que aquellos enclaves que presentan mayor intensidad de enfriamiento son aquellos de menor tamaño, ello atribuido a que su NDVI es notablemente superior. Respecto de la superficie del enclave y su relación con su capacidad de enfriamiento en extensión, se ve una relación principalmente atribuida a la proyección de las sombras de los mismos; ello puede verse en figura 90, donde la proyección de la sombra de la ladera sur de cerro San Cristóbal afecta a 4 anillos (200m) así como, en sentido inverso, la capacidad de extensión de calentamiento observada en cerro Renca se prolonga y se observa a lo largo de 5 anillos (250 m) (Gráfico 18). Con respecto al caso 1, los cerros Hasbún y Santa Lucía, a pesar de poseer mayor intensidad de enfriamiento, no cuentan con capacidad de extensión; se observa en los gráficos 7 y 10 como al salir del cerro la temperatura superficial comienza a aumentar.

Respecto del índice de ocupación de suelo, ambas metodologías, tanto anillos concéntricos como transectos, confirman que hay una directa relación entre mayor ocupación de suelo y LST (gráficos 5, 6, 16, 17). A menor porcentaje de ocupación de suelo, se observan menores temperaturas superficiales. En el desarrollo de transectos, se observa en general que la tipología de urbanización es determinante para potenciar o reducir la capacidad de los cerros de reducir la LST; ello se evidencia en el transecto de Cerro Renca (figura 81, gráfico 18), donde el sector norte presenta una mayor capacidad de enfriamiento respecto de los efectos del cerro por tratarse de una urbanización formal, planificada con áreas verdes y calles arborizadas, en comparación con el sector sur del transecto, cuyo índice de ocupación de suelo es superior y con ciertos grados de informalidad, donde se aprecia una menor capacidad de respuesta ante la influencia de calor que emana el Cerro Renca. También puede observarse en el caso de Cerro San Cristóbal cómo la temperatura disminuye hacia el sector sur del transecto en comparación con el sector norte; ello también se atribuye a la urbanización de tipo formal con mayor presencia de arborización y áreas verdes. Respecto del caso 1, en el transecto de cerro Santa Lucía hacia el norte, se evidencia que la presencia del Parque Forestal aporta frescor (Gráfico 07), puesto que las temperaturas registradas en el sector norte del transecto son

inferiores en 1,3 grados a aquellas registradas en el sector sur del mismo.

Respecto del cerro Hasbún, el cual también cuenta con la presencia cercana de un gran área verde, se observa a través del transecto (gráfico 10) que las temperaturas bajan de 34 grados hacia el poniente, en contraste con el sector oriente, donde las temperaturas aumentan al mismo tiempo que aumenta el índice de ocupación de suelo.

En resumen, se evidenció que, en ambas metodologías utilizadas, existe una relación inversa entre el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la Temperatura Superficial (LST). Es decir, a mayor presencia y calidad de la vegetación, se asocian temperaturas superficiales más bajas. Sin embargo, se observó que los valores de NDVI en los enclaves estudiados son en general bajos o moderados, lo cual puede atribuirse tanto al estado de conservación de la vegetación como a las características propias de la vegetación.

10 Recomendaciones de planificación urbana para potenciar el efecto de enfriamiento, Cerrillos de Lo Castro, Quilicura

10.1 Escalas de actuación y objetivos

ESCALA	RADIO DE INFLUENCIA	OBJETIVO TÉRMICO	MECANISMOS
Intra cerro	Interior del enclave	Intensidad de enfriamiento (mayor NDVI y cobertura)	Reforestación de enclave Control de suelos Control de escorrentía superficial
Ecotono cerro- ciudad	0 - 250 m	Reducir el IOS e incrementar el NDVI	Desarrollo de parques de borde Arborización continua IOS bajo (menor 35%)
Buffer urbano	250-500 m	Aumentar la extensión de enfriamiento	Calles arborizadas con sombra continua Corredores verdes Plazas de bolsillo IOS bajo (40%)
Red Metropolitana	Macro escala	Sumatoria de efectos de enfriamiento	Continuidad ecológica Accesibilidad áreas verdes Vincular elementos de la IV

Tabla 39. Escalas de actuación, objetivos y mecanismos, elaboración propia.

10.2 Marco regulatorio, planteamientos del nuevo PRC

Las recomendaciones de planificación y ordenamiento territorial de la presente memoria se centran en la zona norponiente de la capital, en la comuna de Quilicura (Figura 94), puesto que, como se indica en la figura 33, esta zona de la capital concentra las medias de temperatura más altas, así como también los índices de vegetación más bajos. En el marco regulatorio, la superficie de la comuna se encuentra integrada en el Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS) bajo la modalidad de norma supletoria de la zona de extensión urbana, lo que implica que la totalidad del territorio puede ser urbanizado, incorporando suelos que mantenían condición de ruralidad (Figura 94).

En el marco de la actualización del Plan Regulador Comunal (PRC) de Quilicura, el cual se está llevando a cabo, se observa una oportunidad de planeamiento que se ajuste a la “*Ley de bases del medio ambiente*”, instrumento que establece que, ante cambios o actualizaciones, los PRC deben ser sometidos a un procedimiento especial de evaluación ambiental, denominado “Evaluación ambiental estratégica”, cuyo objetivo es la incorporación de las consideraciones ambientales de desarrollo sustentable conforme se redacte el documento.

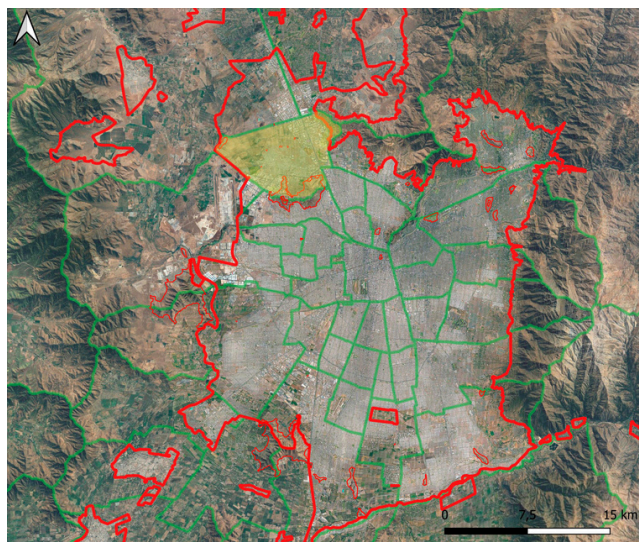


Figura 93. Comuna de Quilicura, elaboración propia

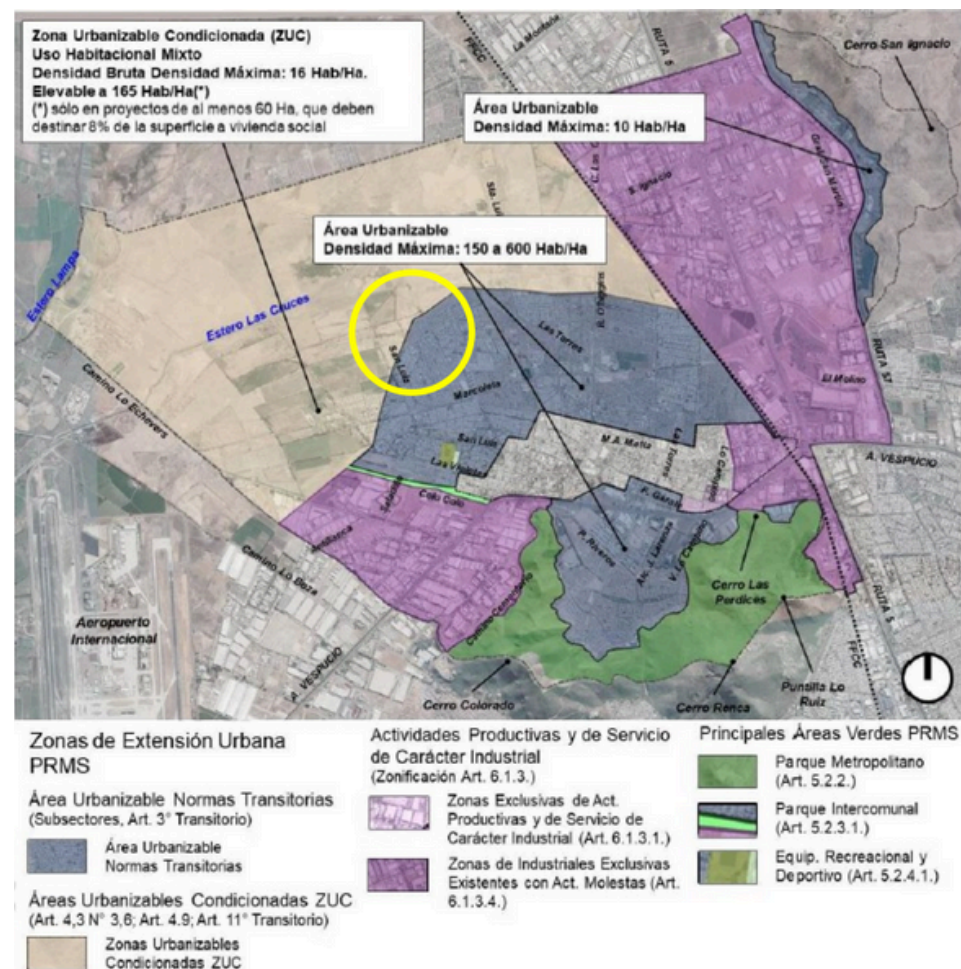


Figura 94. Actualización plan regulador de Quilicura (2021).

Se identifica una oportunidad de planeamiento, basada en la imagen objetivo del plan, la cual ha sido elaborada en octubre del año 2021 (figura 95). En su etapa de anteproyecto, la comuna reconoce la zona de Cerrillos de Lo Castro como un nuevo parque urbano.

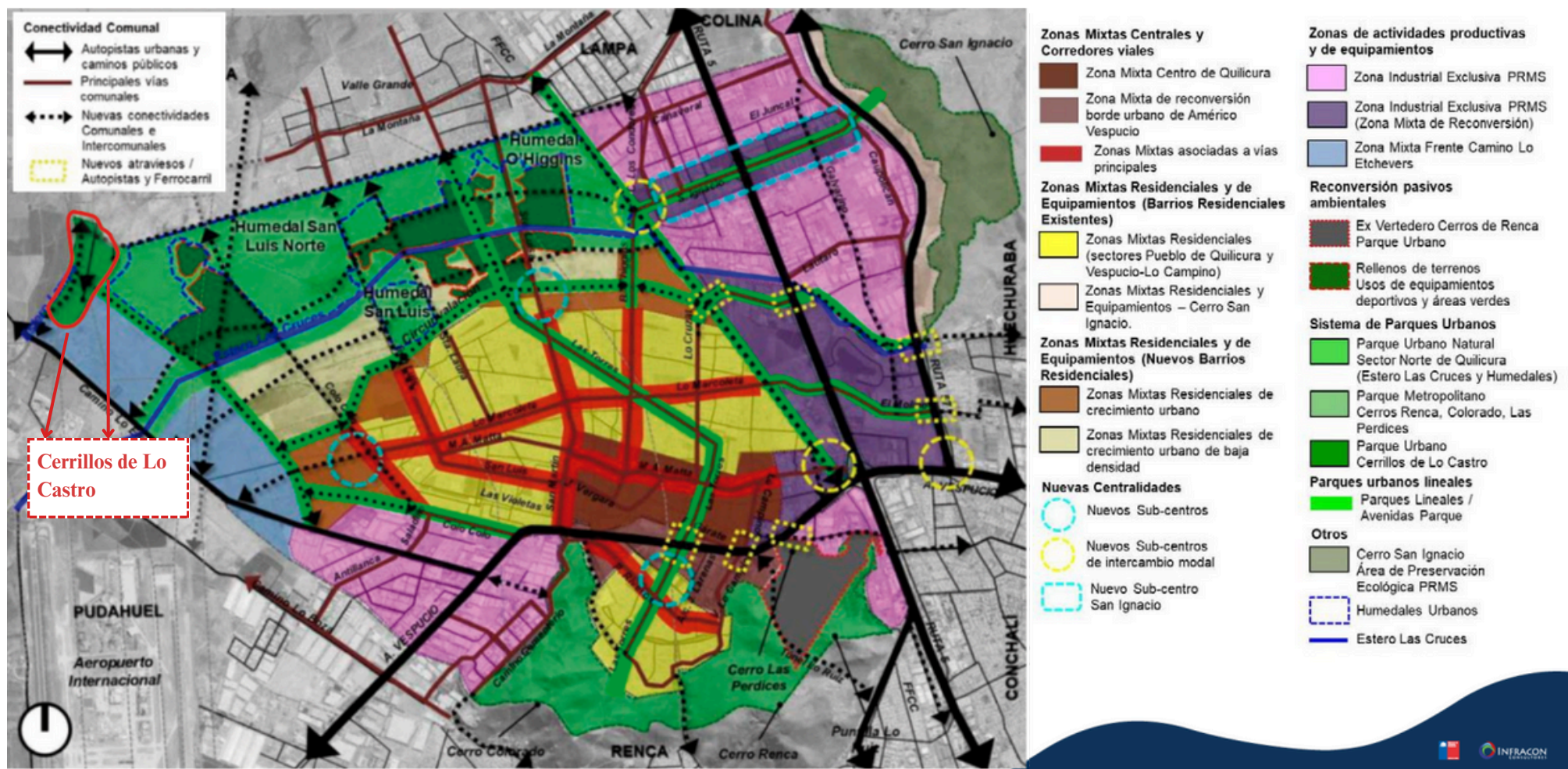


Figura 95. Imagen objetivo PRC de Quilicura, fuente: Municipalidad de Quilicura (2021).

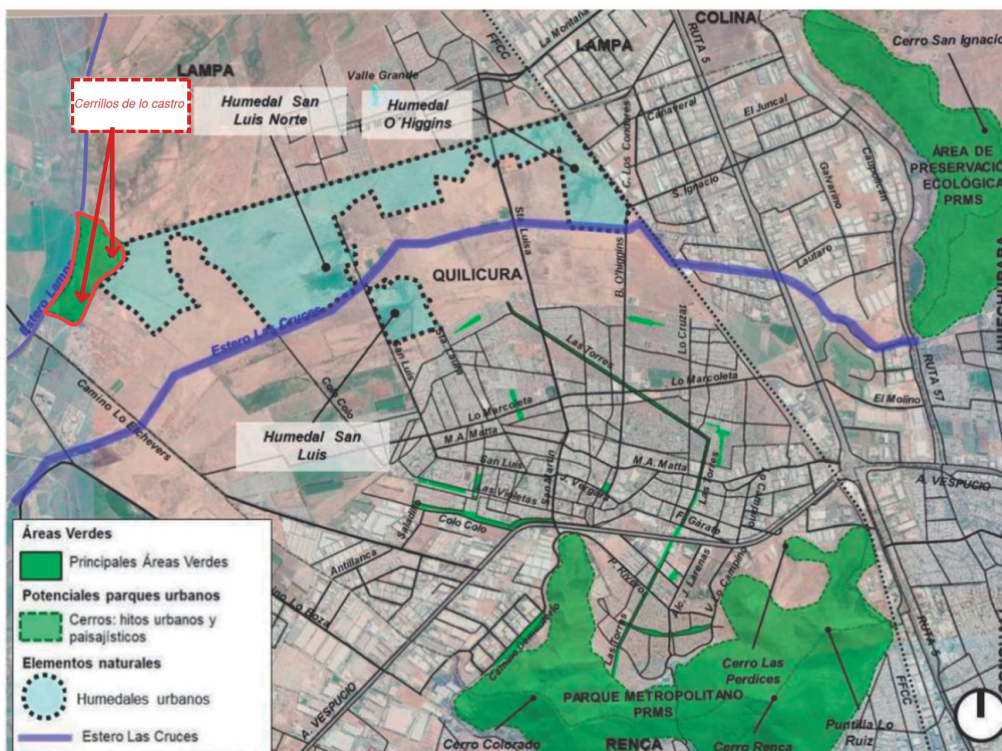


Figura 96. Infraestructura verde de Quilicura, fuente: PRC Quilicura (2021).

Como puede observarse en la figura 96, Cerrillos de Lo Castro se consolida como parte de una de las principales áreas verdes de la comuna; sin embargo, su condición de CI no es reconocida por el PRMS, que reconoce a Cerro Renca como parque metropolitano y a Cerro San Ignacio como área de preservación ecológica. El reconocimiento de este enclave como cerro isla en el marco del PRMS podría contribuir a elevar su categoría de conservación y manejo, reconociendo la estrecha relación que este presenta respecto de la red de humedales urbanos de la comuna (figura 96) a través de la red hidrográfica, así como también su condición de nodo ecológico en su vínculo con el Estero Lampa.²

2. El territorio que se considera localmente como humedal urbano, va desde el límite de la zona industrial hasta las faldas del Cerro Lo Castro, y se nutre principalmente por el Estero Las Cruces y otros canales de desagüe menores a tajo abierto. La vegetación se mantiene producto de las lluvias, de los desbordes generados para el riego de pasturas, y el manejo del agua por inundación para la cosecha de la totora (Acuña y Novakovic, 2021).



Figura 97. Red hidrográfica de Quilicura, elaboración propia.

La comuna de Quilicura posee alrededor de 470 hectáreas de humedales estacionales, los cuales dependen del sistema de canales presentes en esta y su desborde, siendo tres de ellos reconocidos bajo la “Ley de humedales urbanos” (figura 96) y con ello se garantiza su conservación dentro del PRC; estos integran el sistema de áreas verdes comunal y consolidan su infraestructura verde.

Según lo indicado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN, 2002), la comuna presenta un alto nivel de peligrosidad de inundación en su zona norponiente, en el sector de Cerrillos de Lo Castro, atribuyéndolo a que es una zona deprimida y de baja permeabilidad y drenaje deficiente. Su inundación se asocia a lluvias intensas y prolongadas, donde en la mayor parte del suelo el nivel freático aflora, dando origen a zonas pantanosas (Figura 98).

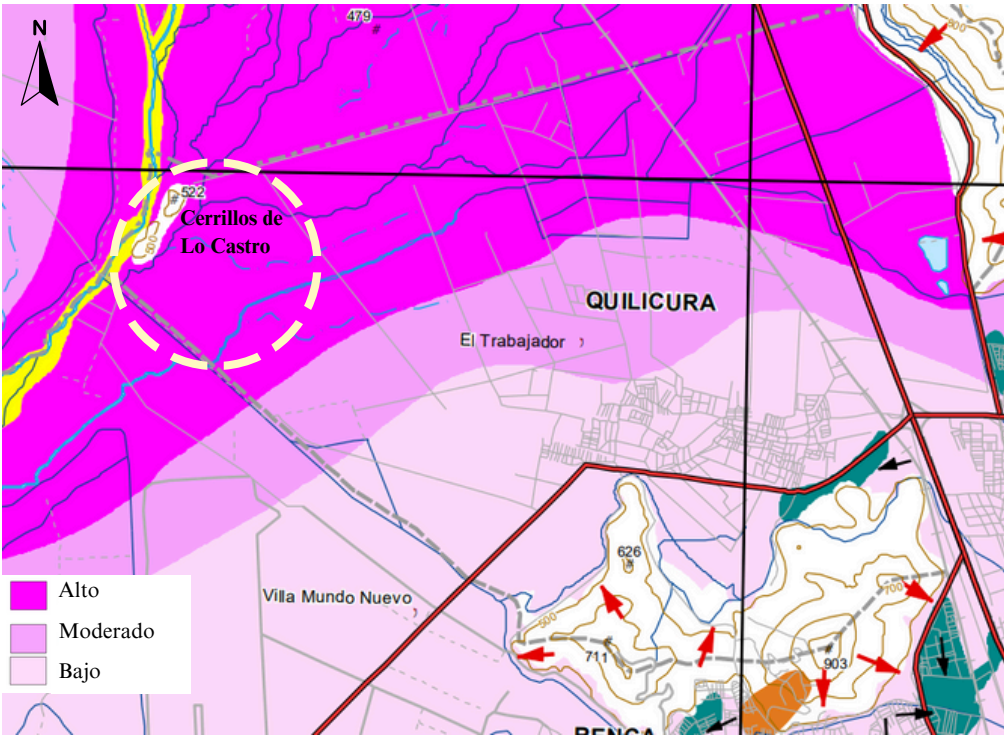


Figura 98. Peligrosidad de inundación , fuente: SERNAGEOMIN (2002).

A partir del documento “Plan regulador comunal de Quilicura, imagen objetivo”, se escoge la alternativa de estructuración urbana “A” (figura 99), donde se establecen las principales orientaciones a nivel de macro áreas (figuras 99 y 100). Teniendo en cuenta lo planteado por el PRC, se elabora una propuesta de integración de Cerrillos de Lo Castro en una futura matriz urbana que considere aspectos para potenciar su efecto de enfriamiento, tanto en intensidad como en extensión de estos enclaves.

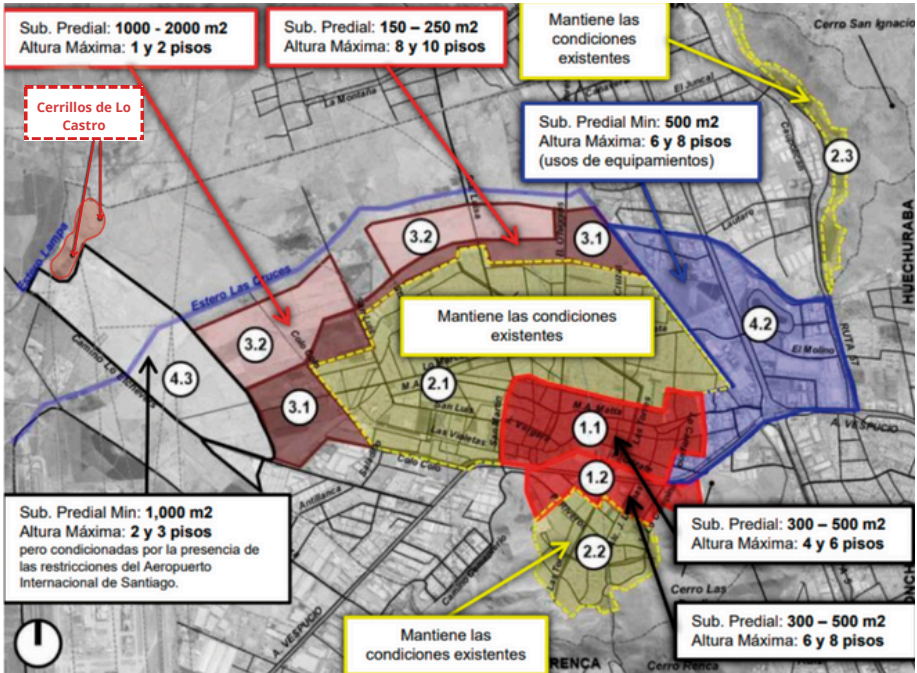


Figura 99. Lineamientos de desarrollo urbano, fuente: PRC Quilicura (2021).

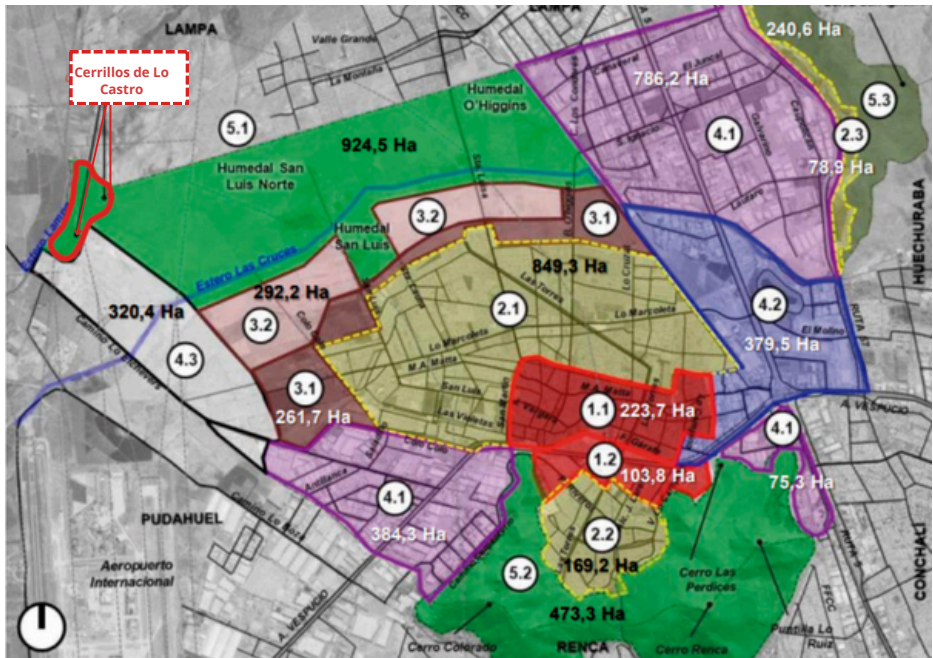


Figura 100. Usos preferentes y superficies, fuente: PRC Quilicura (2021).

10.3 Identificación de variables en el área de propuesta

Se plantean una serie de recomendaciones en relación a la planificación de la zona de trabajo, todas ellas con el objetivo de asegurar una mejor habitabilidad y expansión urbana con mira a una mayor resiliencia climática. Como puede verse en la figura 101, la zona de propuesta posee elevadas temperaturas superficiales, asociadas a niveles de NDVI muy bajos con valores comprendidos entre 0,08 y 0,1 (figura 102). Puede apreciarse el cambio de LST con la presencia del estero Lampa y sus cultivos asociados, en contraste con los suelos desnudos alrededor de Cerrillos de Lo Castro (Figura 103).

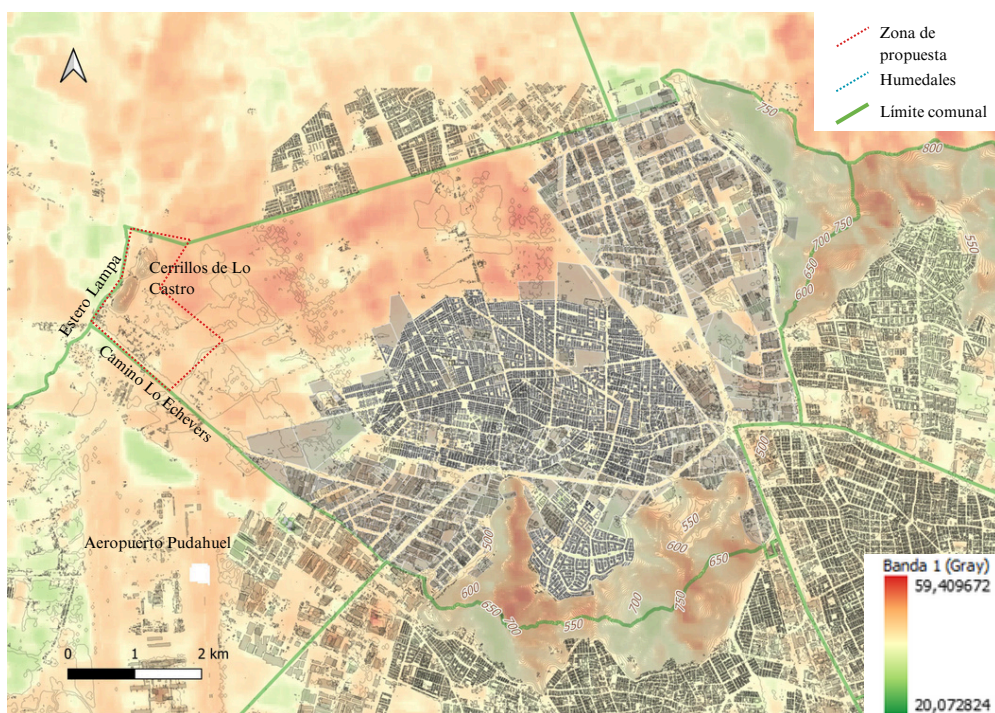


Figura 101. Zona de propuesta y su LST actual, elaboración propia.

Actualmente, estos enclaves se encuentran bastante deteriorados; se observa que han sido utilizados como canteras, alterando su morfología, lo que pone en riesgo una de las fuentes de abastecimiento de la red de humedales. Además de ello, se observa que los usos de suelo son destinados a quema de basura y extracción de áridos (Figura 102), lo cual explica las elevadas LST observadas en el área de propuesta.

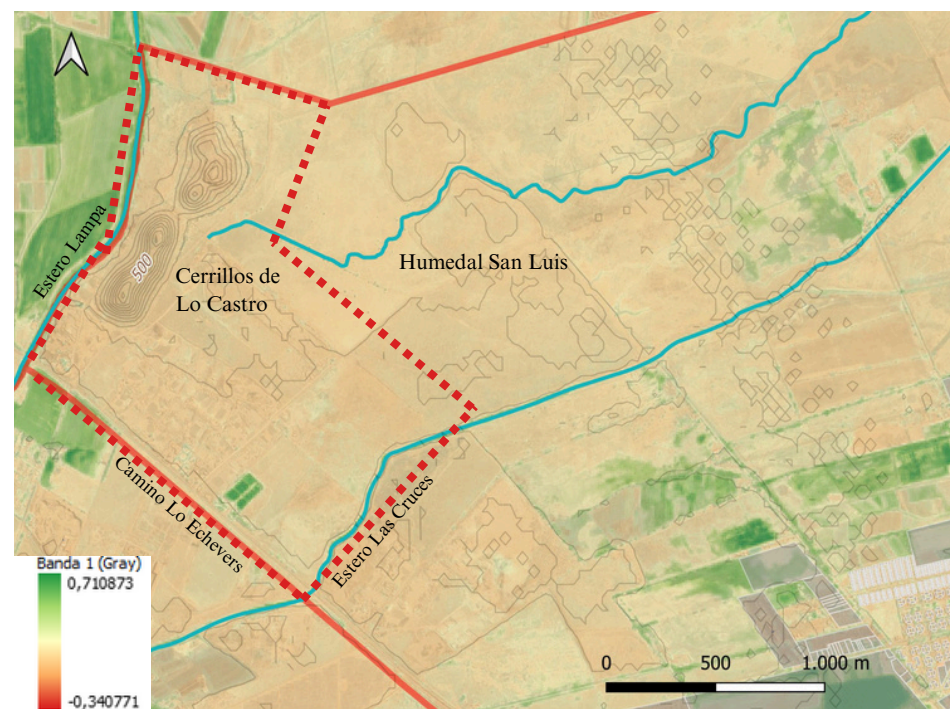


Figura 102. NDVI zona de propuesta, elaboración propia.

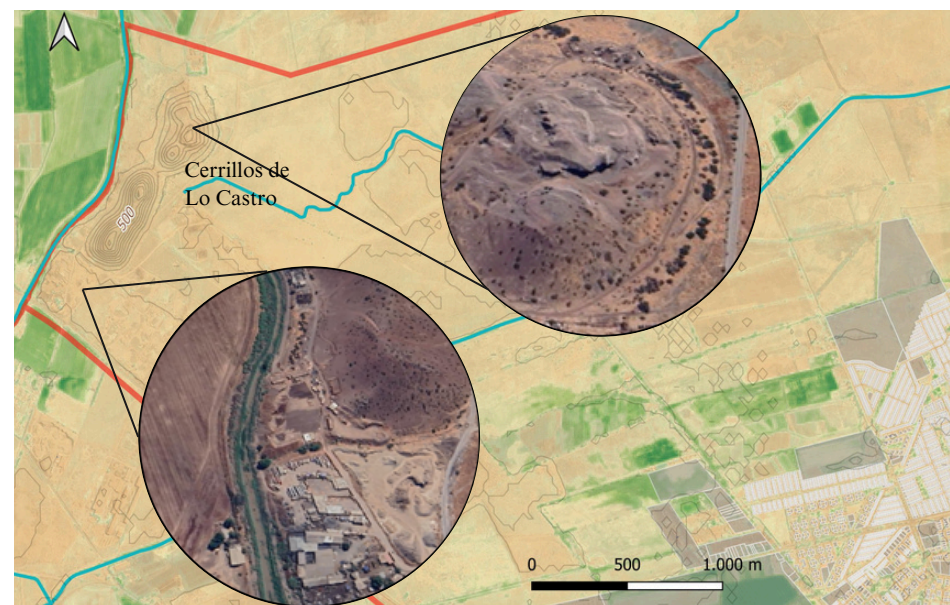


Figura 103. Usos de suelo actuales, elaboración propia.

11. Directrices de diseño según escala

11.1 Intra cerro

Se recomienda la restauración ecológica de estos enclaves para restablecer su cobertura vegetal y aumentar su SE de regulación, ello logrado a través de una sucesión ecológica que se logre a través de diferentes etapas (Tabla 40).



Figura 104. Escala intra cerro, situación actual, elaboración propia en base a Google earth.

ETAPA	TIPO DE ESPECIES	FUNCIÓN ECOLÓGICA
1. Zona deforestada	Especies pioneras	Colonizar espacios donde hay suelos desprovistos de vegetación para constituirse como la capa de vegetación que contribuya a la acumulación de materia orgánica, contribuyendo a la infiltración de agua.
2. Suelo enriquecido	Especies de sucesión intermedia	El suelo se enriquece progresivamente y las semillas diseminadas por aves crecen bajo las especies pioneras que actúan como nodrizas.
3. Sucesión tardía	Especies de sucesión tardías	Cuando las especies pioneras e intermedias se establecen, aumenta la diversidad del ecosistema

Tabla 40. Etapas de la restauración ecológica, elaboración propia en base a Altamirano (2008).

ETAPA	TIPO DE ESPECIES	ESPECIES A UTILIZAR
1. Zona deforestada	Especies pioneras	Estrato arbóreo: <i>Acacia caven</i> , <i>Senna candolleana</i> , <i>Schinus molle</i> . Estrato arbustivo: <i>Retanilla trinervia</i> , <i>Proustia cuneifolia</i> , <i>Muehlenbeckia hostulata</i> , <i>Podanthus mitiqui</i> , <i>Escallonia pulvurulenta</i> , <i>Baccharis linearis</i> .
2. Suelo enriquecido	Especies de sucesión intermedia	Estrato arbóreo: <i>Quillaja saponaria</i> , <i>Lithraea caustica</i> , <i>Senna candolleana</i> , <i>Kageneckia oblonga</i> , <i>Schinus molle</i> . Arbustiva: <i>Portieria chilensis</i> , <i>Colliguaja odorifera</i> .
3. Sucesión tardía	Especies de sucesión tardías	Arborea: <i>Quillaja saponaria</i> , <i>Cryptocarya alba</i> , <i>Peumus boldus</i> , <i>Lithraea caustica</i> , <i>Maytenus boaria</i> , <i>Luma chequén</i> . Arbustiva: <i>Azara dentata</i>

Tabla 41. Recomendación de especies a utilizar, elaboración propia en base a Altamirano (2008).

SENDEROS

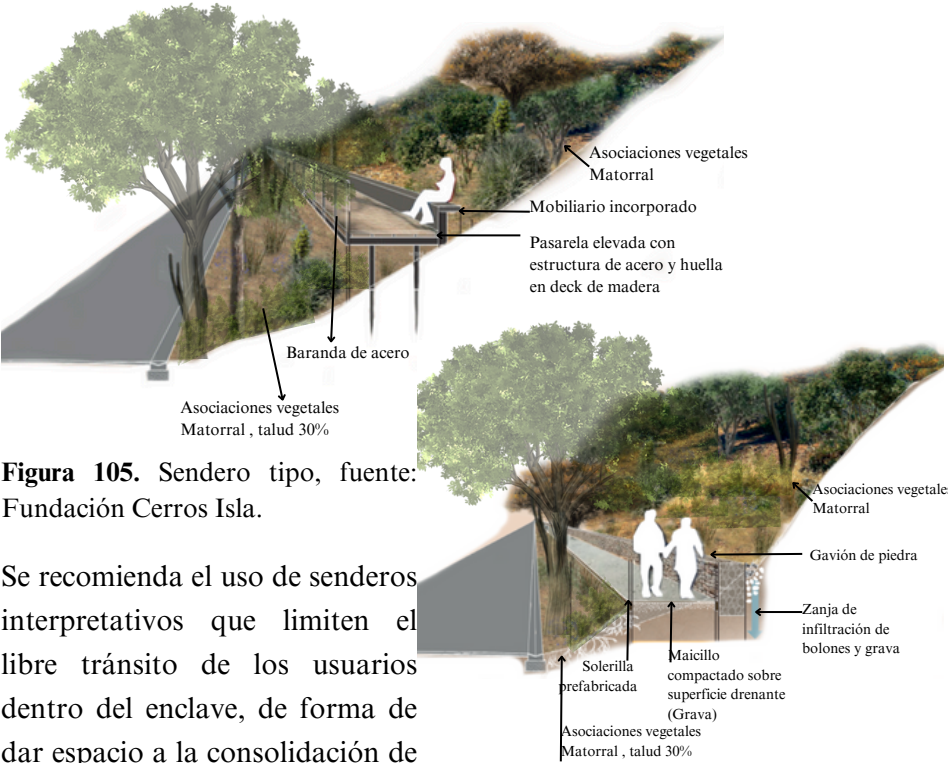


Figura 105. Sendero tipo, fuente: Fundación Cerros Isla.

Se recomienda el uso de senderos interpretativos que limiten el libre tránsito de los usuarios dentro del enclave, de forma de dar espacio a la consolidación de la cobertura vegetal.

Figura 106. Sendero tipo, fuente: Fundación Cerros Isla.

11.2 Ecotono cerro- ciudad

El ecotono del cerro corresponde a una zona de transición ecológica y urbana, la cual se forma entre el enclave y el tejido urbano circundante o futuro (figura 107). Es una zona clave en la reducción de LST, puesto que su consolidación influye directamente en la capacidad de intensidad del efecto de enfriamiento que puede presentar un CI. Para trabajar esta zona, se recomienda desarrollar un buffer, una franja comprendida en un radio de 250 metros desde el enclave, donde se desarrolle infraestructura verde (parque de borde), la cual actúe como modelador de gradiente de LST y como conector ecológico respecto de otros elementos de infraestructura verde urbana (figura 108).

Respecto de la urbanización, se recomienda lo siguiente:

- . Índice de ocupación de suelo inferior al 35%
- . Espacio destinado a áreas verdes y espacios comunes
- . Arborización continua presente en calles y plazas



Figura 107. Ecotono Cerrillos de Lo Castro, elaboración propia.

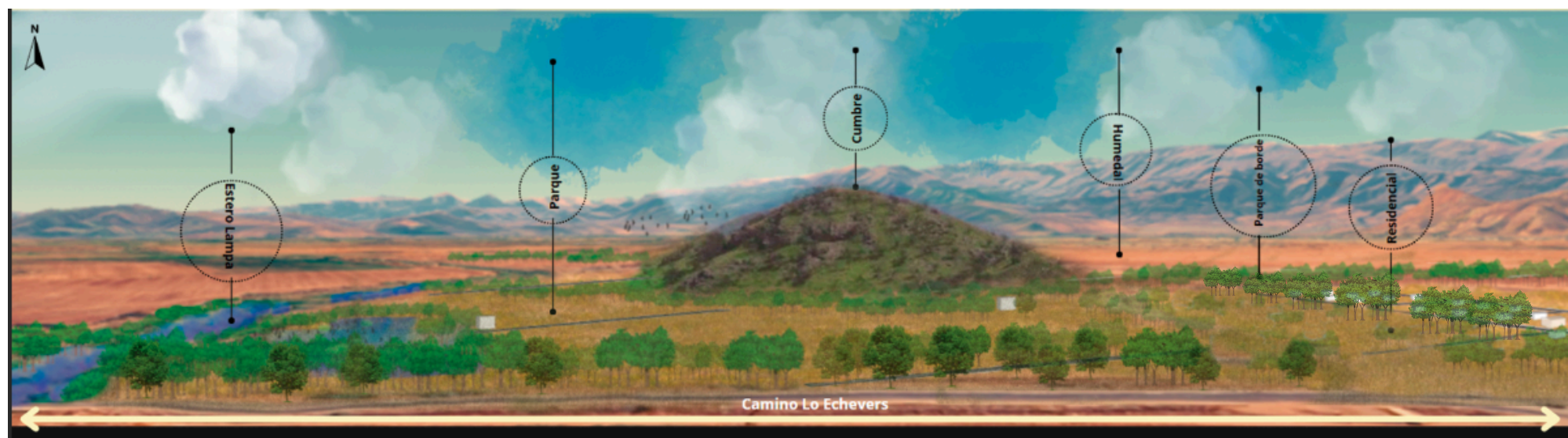


Figura 108. Vista aérea ecotono, elaboración propia.

11.3. Buffer urbano y conectividad



Figura 109. Conectividad y cargas, elaboración propia.

Dadas las condiciones analizadas previamente, se recomienda que el área de proyecto posea la categoría de “Zona mixta residencial de crecimiento urbano de baja densidad” para no entorpecer los vínculos ecológicos enclave-humedal-estero y favorecer con ello la recuperación de estos ecosistemas. Las recomendaciones de planteamiento urbano se centran en la zona delimitada por Estero Lampa, Estero Las Cruces y el Humedal.

Se sugiere vincular estos elementos a través de un parque de borde que se inserte en una trama urbana formal, de baja densidad, la cual otorgue espacio suficiente para la incorporación de arbolado urbano, plazas y parques lineales.

Respecto a la conectividad, se considera lo planteado en el PRC de Quilicura, reconociendo la importancia de Camino Lo Echevers como una vía de conexión intercomunal, por lo que se considera un frente de edificaciones con bajos comerciales y un máximo de 3 pisos para respetar las normas de aeronáutica sujetas a la presencia del aeropuerto Pudahuel (Figura 101). Se recomienda que el acceso al parque se logre a través de diversas vías, intercomunales y comunales, y la capacidad de carga de estas se diluye al momento de ingresar al mismo (figura 109).

Esta zona se considera como una línea de trabajo que comprende entre los 250 y los 500 metros de distancia desde el enclave. La función estratégica de esta zona consiste en facilitar la extensión de enfriamiento del CI y conectar con la red urbana, así como con otros elementos de la infraestructura verde (figura 111).

Algunas de las recomendaciones orientadas a consolidar dicho objetivo son las siguientes:

- . Calles arborizadas con sombra continua
- . Desarrollo de plazas de bolsillo
- . Desarrollo de corredores verdes
- . Conectividad infraestructura verde-azul
- . Índice de ocupación de suelo bajo
- . Vínculo cerro-ciudad a través de accesos visuales y físicos.



Figura 110. Borde humedal , elaboración propia.



Figura 111. Buffer urbano, elaboración propia.

11.4 Red Metropolitana

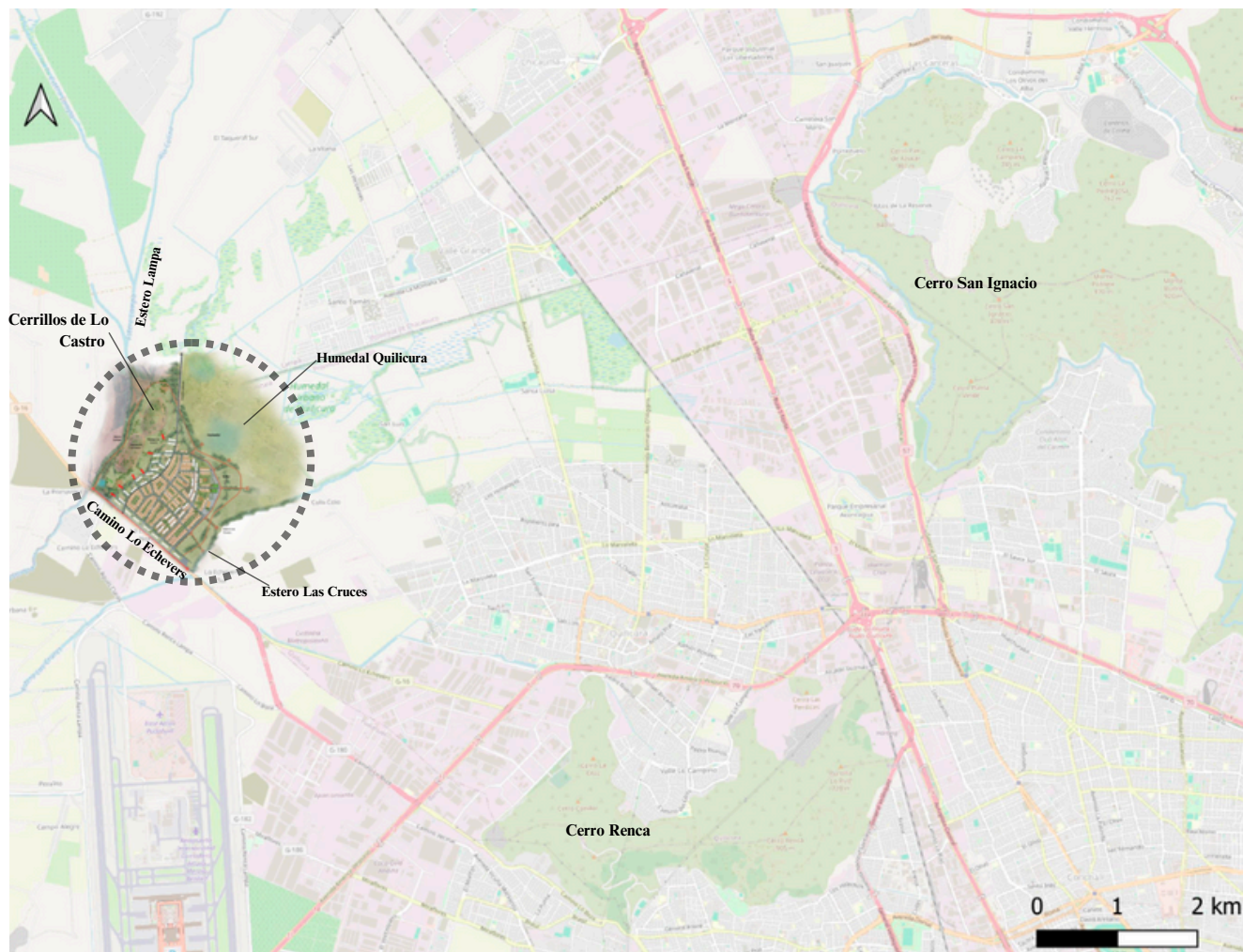


Figura 112. Red Metropolitana, elaboración propia.

Esta corresponde a la escala más amplia dentro de las recomendaciones de intervención en un CI; hace referencia a la integración de estos enclaves dentro de una matriz ecológica que reconoce a estos enclaves como piezas importantes dentro de la infraestructura verde metropolitana.

Dentro de sus funciones en la reducción de la LST, se encuentran las siguientes:

- . Sumar efectos de enfriamiento locales, los cuales pueden potenciarse.
- . Vincular diferentes elementos de la IV, como áreas naturales, humedales urbanos, canales, ríos, zonas agrícolas y parques urbanos.
- . Garantizar el acceso a nuevas áreas verdes y potenciales refugios climáticos.

12. Conclusiones

Según lo observado en la presente investigación, se concluye que los CI poseen la capacidad de reducir la LST en intensidad y extensión.

Se observa que aquellos enclaves que poseen mayor intensidad de enfriamiento se relacionan principalmente a la variable NDVI e IOS, al ser el resultado de la diferencia de la media de temperatura entre la zona buffer y el enclave mismo. El valor mas alto se registra en el caso de Cerro Hasbún, registrando una intensidad de enfriamiento de 4,4 grados Celsius respecto de su entorno, esta diferencia se explica por dos razones, primeramente valores de NDVI medios y buena cobertura vegetal dentro del enclave; en segundo lugar, la presencia de sitios eriazos que aumentan considerablemente la LST, así como una trama urbana densa con escasa presencia de áreas verdes, que potencia el contraste cerro-buffer. Por otra parte, se observa que en el caso de análisis 2, Cerro Renca presenta una media de temperatura superior a su buffer en 2,8 grados, producto de un NDVI muy bajo o nulo, lo cual provoca la extensión de calor a lo largo de su buffer, afectando a quienes habitan en sus faldas. Este dramático caso pone en evidencia la capacidad del medio urbano de reaccionar ante el calor, puesto que el sector norte que responde a una urbanización formal, con mayores índices de área verde logra reducir la temperatura 5 grados mas que el sector sur, conformado por una tipología urbana con presencia de informalidad y escasas áreas verdes. Este caso pone en evidencia la importancia del estado de conservación de estos enclaves.

Los resultados afirman que el efecto de extensión de enfriamiento se encuentra directamente relacionado con el entorno urbano, ello se observa con claridad en la metodología de transectos, donde se observa por ejemplo, que aquellos cerros isla que enfrentan contextos urbanos de mayor formalidad, con mejor calidad de condiciones urbanas como San Cristóbal o Santa Lucía, poseen un comportamiento térmico más estable a lo largo del buffer, en contraste con lo observado en cerros Hasbún y Renca, cuya extensión de enfriamiento se ve limitada o en el caso de cerro Renca nula.

Según lo observado, la presente tesis refuerza la importancia de los instrumentos de planificación territorial tanto a nivel comunal como a nivel metropolitano, puesto que se evidencia la importancia de considerar soluciones basadas en la naturaleza para consolidar ciudades resilientes.

Suma entonces como antecedente, el potencial que poseen estos enclaves para contribuir a mejorar el microclima urbano puesto que la intensidad del efecto de enfriamiento se relaciona directamente con el estado de conservación de los cerros. Lamentablemente al día de hoy muchos de estos cerros poseen escasa cobertura vegetal y con NDVI muy bajos, sobre todo en aquellas zonas de la capital con mayor vulnerabilidad socioespacial, lo cual ha sido contraproducente. Ante la evidente escasez de áreas verdes en el Gran Santiago, se debe reflexionar sobre como se esta desperdiciando una oportunidad sobre estos remanentes.

Los hallazgos de esta tesis refuerzan el concepto de “planificación urbana ecológica”, donde estos enclaves no se observen como fragmentos en el territorio, sino como elementos de una infraestructura verde que como puede observarse es funcional al efecto de extensión de enfriamiento, siendo el ecotono un aspecto importante a trabajar así como la trama urbana circundante.

Al día de hoy muchos de los cerros en el Gran Santiago se encuentran rodeados de una trama urbana densa, la cual limita de forma importante la capacidad de extensión de enfriamiento, sin embargo aun quedan algunos CI que no han sido alcanzados en su totalidad por el crecimiento urbano y por lo tanto es una oportunidad para los municipios de considerar a estos enclaves como potenciales refugios climáticos y regular las normas urbanísticas y usos de suelo alrededor de estos.

La metodología expuesta se centra en la ciudad de Santiago, sin embargo son muchas las ciudades de Chile que cuentan con la presencia de CI, por lo tanto con una oportunidad de adelantarse a los desafíos climáticos que enfrentamos.

Aunque la metodología se limitó en un día del período estival como una primera aproximación, esta podría ampliarse a otras épocas del año para analizar de forma mas profunda la capacidad de intensidad y extensión de enfriamiento de estos enclaves.

Bibliografía_

- Acuña, G., & Novakovic, S.** (2021). *Reconociendo los humedales urbanos de Quilicura: Paisaje, patrimonio natural y cultura* [Documento técnico]. Dirección de Gestión Ambiental de la Municipalidad de Quilicura. <https://www.ww2.muniquilicura.cl/wp-content/uploads/2021/09/Reconociendo-los-Humedales-Urbanos-de-Quilicura.pdf>
- Altamirano Oyarzún, T. A.** (2008). Restauración de los sistemas naturales mediterráneos de Chile central: Estudio de casos de restauración del bosque esclerófilo [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica de Chile]. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. <https://www.researchgate.net/publication/303876585>
- Alegria-Corona, V. F.** (2024). *Morfologías urbanas de la ciudad informal: Lógicas y patrones espaciales en las áreas metropolitanas chilenas. Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 56(219), 225–250. <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/97263/76425>
- Arellano, B., García-Haro, A., & Roca, J.** (2019). *Definición espacial del efecto de enfriamiento de los espacios verdes urbanos mediante teledetección: Estudios de caso en el Área Metropolitana de Barcelona* [Comunicación en congreso]. XIII Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual: *Challenges and paradigms of the contemporary city*, 2–4 de octubre de 2019, UPC, Barcelona. CPSV. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/185602/8956-9054-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H.** (2001). *Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. Solar Energy*, 70(3), 295-310. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X)
- Brignardello, L. A., & Georgudis, B. M.** (1997). *Geopedología de la cuenca de Santiago: Dimensión espacial de los problemas ambientales en los suelos. Revista de Geografía Norte Grande*, 24, 127–141. <https://ojs.uc.cl/index.php/RGNG/article/view/41649/33537>
- Cervera Gómez, L. E., García Dena, M., Sandoval Chávez, D. A., & Reyes Escalante, A. Y.** (2023). El efecto isla de enfriamiento del parque en condiciones áridas: Una perspectiva de sensibilidad remota. *Revista del Centro de Investigación de la Universidad La Salle*, 15(60), 123-160. <https://revistasinvestigacion.lasalle.mx/index.php/recein/article/view/3509/3547>
- City of Melbourne.** (2014). *Urban forest strategy: Making a great city greener 2012–2032* [Informe estratégico]. <https://www.melbourne.vic.gov.au/urbanforest>
- Corporación Ciudades.** (2023). *Ranking de olas de calor: Análisis de las temperaturas extremas en el Gran Santiago y su impacto* [Presentación]. <https://corporacionciudades.cl/wp-content/uploads/2023/12/Olas-Calor-CC-Nov-2023.pdf>
- Comisión Europea.** (2013). Estrategia de adaptación al cambio climático de la UE [Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:52013DC0216>

- Cilliers, S. S., Cilliers, E. J., Lubbe, R., & Siebert, S. (2013). *Ecosystem services of urban green spaces in African countries—Perspectives and challenges*. *Urban Ecosystems*, 16(4), 681–702. <https://doi.org/10.1007/s11252-012-0254-3>
- Duval, V. S., Benedetti, G. M., & Baudis, K. (2022). *Confort térmico producido por la vegetación arbórea en el macrocentro de Bahía Blanca (Argentina)*. *Ecología Austral*, 32(2), 213–225. https://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia_Austral/article/view/1814/1300
- Emmanuel, R., & Loconsole, A. (2015). Green infrastructure as an adaptation approach to tackling urban overheating in the Glasgow Clyde Valley Region, UK. *Landscape and Urban Planning*, 138, 71-86. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.012>
- Ermida, S. L., Soares, P., Mantas, V., Götsche, F.-M., & Trigo, I. F. (2020). *Google Earth Engine Open-Source Code for Land Surface Temperature Estimation from the Landsat Series*. *Remote Sensing*, 12(9), 1471. <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/9/1471>
- Forray, R., Arellano, E., Picón, M. C., Fernández, I., Besa, A., Lefranc, E., & Ruiz, F. (2012). *Integración de los cerros isla al sistema de áreas verdes de Santiago 2011* [Informe técnico]. Pontificia Universidad Católica de Chile. <https://politicaspUBLICAS.uc.cl/publicacion/propuestas-para-chile-2012-capitulo-vi-integracion-de-los-cerros-isla-al-sistema-de-areas-verdes-de-santiago-2011/>
- Fundación Cerros Isla. (2017). *Cerros isla de Santiago: Construyendo un nuevo imaginario de ciudad a partir de su geografía* [Libro]. Ediciones ARQ, Escuela de Arquitectura, Pontificia Universidad Católica de Chile. <file:///C:/Users/franc/Downloads/Cerros%20Isla%20de%20Santiago.pdf>
- Flores-Meza, S., Katunaric-Nuñez, M., Rovira-Soto, J., & Rebolledo-González, M. (2013). *Identificación de áreas favorables para la riqueza de fauna vertebrada en la zona urbana y periurbana de la Región Metropolitana, Chile*. *Revista Chilena de Historia Natural*, 86, 265–277. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2013000300004>
- Fernández Chicharro, I. (2008). *Consecuencias ecológicas de la fragmentación por desarrollos urbanos sobre los parches remanentes de hábitats naturales* [Tesis de Magíster, Pontificia Universidad Católica de Chile]. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. <https://es.scribd.com/document/192447210/Ignacio-Fernandez-Chicharro-Tesis-de-Magister-en-Recursos-Naturales-Octubre-2008-PDF>
- Soto-Soto, J. E., Garzón-Barrero, J., & Jiménez-Cleves, G. (2020). *Análisis de islas de calor urbano usando imágenes Landsat: Caso de estudio Armenia-Colombia 1996–2018*. *Revista Espacios*, 41(8), 9–27. <http://www.revistaespacios.com/a20v41n08/20410809.html>
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: *The role of the green infrastructure*. *Built Environment*, 33(1), 115–133. https://www.researchgate.net/publication/253064021_Adapting_Cities_for_Climate_Change_The_Role_of_the_Green_Infrastructure
- Gobierno Regional Metropolitano de Santiago. (2017). *Estrategia Santiago Humano y Resiliente* [Documento estratégico]. Gobierno Regional Metropolitano de Santiago.
- Harlan, S. L., Brazel, A. J., Prashad, L., Stefanov, W. L., & Larsen, L. (2006). *Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress*. *Social Science & Medicine*, 63(11), 2847–2863. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2006.07.030>

IPCC. (2018). *Calentamiento global de 1,5 °C: Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C sobre los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes de emisión de gases de efecto invernadero, en el contexto del fortalecimiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos para erradicar la pobreza* [Informe especial]. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. <https://www.ipcc.ch/sr15/>

Landsberg, H. E. (1981). *The urban climate*. Academic Press.

Lemoine-Rodríguez, R., Pérez Vega, A., & Mas, J. F. (Eds.). (2024). *Avances en el estudio de islas de calor urbano en América Latina* [Libro electrónico]. Universidad Nacional Autónoma de México; Universidad de Guanajuato. <https://publicaciones.ciga.unam.mx/index.php/ec/catalog/book/287>

Mohiuddin, G., & Mund, J.-P. (2021). *Application of land surface temperature analysis in urban green spaces: Case studies from South Asia*. *GI_Forum*, 2021(2), 202–214.

https://www.researchgate.net/publication/357397792_Application_of_Land_Surface_Temperature_Analysis_in_Urban_Green_Spaces_Case_Studies_from_South_Asia

Mashini Facuse, D. (2014). *Plan de integración de los cerros isla de Santiago a una matriz ecológica: Caso del cerro Hasbún dentro del Corredor Sur de San Bernardo* [Tesis de magíster, Pontificia Universidad Católica de Chile, Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales]. <https://estudiosurbanos.uc.cl/wp-content/uploads/2014/10/TESIS-DMF.pdf>

Molina, M., Romero, H., & Sarricolea, P. (2009). *Características socioambientales de la expansión urbana de las áreas metropolitanas de Santiago y Valparaíso*. En R. Hidalgo, F. Arenas, & C. A. de Mattos (Eds.), *Chile: del país urbano al país metropolitano* (pp. 187–200). Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile. https://www.researchgate.net/publication/42384847_Caracteristicas_socio_ambientales_de_la_expansion_urbana_de_las_Areas_metropolitanas_de_Santiago_y_Valparaiso

Pontificia Universidad Católica de Chile. (s.f.). *Atlas nacional: Cerros isla, piezas clave para la planificación ecológica de ciudades*. Santiago, Chile: Fundación Cerros isla. [Investigación colaborativa]. https://www.fundacioncerrosisla.cl/_files/ugd/8e4003_da610ea078f0455383b975744c3b88f2.pdf

NASA Earth Observatory. (2000). Medición de la vegetación (NDVI y EVI). https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php

Naciones Unidas. (2019). *El 68% de la población mundial vivirá en zonas urbanas para 2050, dice la ONU*. Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2019/02/1451862>

Ndossi, M. I., & Avdan, U. (2016). *Inversion of land surface temperature (LST) using Terra ASTER data: A comparison of three algorithms*. *Remote Sensing*, 8(12), 993. <https://doi.org/10.3390/rs8120993>

Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). *Urban climates*. Cambridge University Press. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781108180245_A30634643/preview-9781108180245_A30634643.pdf?utm_source=chatgpt.com

- Palmeiro Silva, Y., Bocher, M., Chandler, R. E., Valdivia, G., & Cifuentes, L.** (2024). *Impacto de las olas de calor en la salud en Chile: Evidencia y recomendaciones* [Informe]. Centro de Políticas Públicas, Pontificia Universidad Católica de Chile. <https://politicaspubblicas.uc.cl/web/content/uploads/2024/01/Documento-Calor-extremoVOK.pdf>
- Paz, O.** (2023). *El nuevo paradigma del desarrollo: La adaptación y la resiliencia climática*. [Artículo]. Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad Mayor de San Andrés. <https://www.researchgate.net/publication/381483404>
- Picon, M. C., de la Barrera, F., Contreras, C., Reyes-Paecke, S. y Berrizbeitia, A.** (2023). *Cerros isla en las ciudades de Chile: oportunidades para una planificación ecológica*. Revista INVI, 38(108), 255-298. <https://www.scielo.cl/pdf/invi/v38n108/0718-8358-invi-38-108-255.pdf>
- Picon, M. C., de la Barrera, F., Contreras, C., Fernández, I., Berrizbeitia, A., & Reyes-Paecke, S.** (2017). *Mosaico ecológico urbano: Criterios para el desarrollo de la Región Metropolitana*. [Artículo]. Fundación Cerros Isla. FONDART N°215947.
- Poduje, I.** (2006). *El globo y el acordeón: planificación urbana en Santiago, 1960–2004*. En A. Galetovic (Ed.), Santiago: ¿Dónde estamos? ¿Hacia dónde vamos? (pp. 233–256). Centro de Estudios Públicos.
- Retamal Araya, C.** (2015). *Cuantificación de servicios ecosistémicos urbanos en cerros isla: El proyecto de parque urbano para el cerro Chena, Santiago, Chile* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica de Chile]. <https://estudiosurbanos.uc.cl/wp-content/uploads/2015/12/TESIS-CRA.pdf>
- Reyes-Paecke, S.** (2020). *Forestación urbana para la adaptación al cambio climático* [Documento para Política Pública N° 09]. Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS). <https://doi.org/10.7764/cedeus.dpp.09>
- Reyes Rodríguez, C. F. ., Rosas Chavoya, M. ., López Serrano, D. P. M. ., Prieto Ruiz, J. Ángel ., Hinojosa Espinoza, F. ., & Vega Nieva, D. J.** (2024). Análisis de la temperatura superficial en las áreas verdes de la ciudad de Durango, Durango. Revista Mexicana De Ciencias Forestales, 15(81), 83–109. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i81.1432>
- Rivera Torres, M. A.** (2023). *El rol de las estructuras verdes metropolitanas: Evolución de la planificación de Santiago Metropolitano entre los años 1960-2006*. CIAUD, [Artículo]. School of Architecture; Universidade de Lisboa, Portugal. <https://doi.org/10.5821/siu.12777>
- Romero, H., & Opazo, D.** (2017). *Ondas e islas de calor registrados en Santiago de Chile en enero de 2017* [Ponencia de congreso]. En XVII Simposio Brasileño de Geografía Física Aplicada y I Congreso Nacional de Geografía Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil <https://www.researchgate.net/publication/315791242>
- Romero, H., & Molina, M.** (s.f.). *Relación espacial entre tipos de usos y coberturas de suelos e islas de calor en Santiago de Chile* [Manuscrito no publicado]. Laboratorio de Medioambiente y Territorio, Universidad de Chile. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/117775/Molina_Anales.pdf
- Romero, H., & Mendes, F. H.** (2020). *Climatología geográfica urbana crítica de Santiago do Chile* [Capítulo]. https://www.researchgate.net/publication/346702329_CLIMATOLOGIA_GEOGRAFICA_URBANA_CRITICA_DE_SANTIAGO_DO_CHILE
- Ruefenacht, L. A., & Acero, J. A. (Eds.).** (2017). *Strategies for cooling Singapore: A catalogue of 80+ measures to mitigate urban heat island and improve outdoor thermal comfort. Cooling Singapore*. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000258216>

- Rueda, S.** (s.f.). *El urbanismo ecológico: Un nuevo urbanismo para abordar los retos de la sociedad actual* [Manuscrito no publicado]. <https://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/UrbanismoEcologicoSRueda.pdf>
- Santos da Silva, J. P. L., & Ribeiro, D. D. M.** (2023). Temperatura superficial terrestre e NDVI dos bairros da área urbana de Arapiraca – AL: Uma análise a partir das estatísticas zonais. *Caminhos de Geografia*, 24(92), 343-355. <https://doi.org/10.14393/RCG249264151>
- 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, 71-84. file:///C:/Users/franc/Downloads/reclim08f.pdf
- Smith, Pamela, & Romero, Hugo.** (2016). *Factores explicativos de la distribución espacial de la temperatura del aire de verano en Santiago de Chile*. *Revista de geografía Norte Grande*, (63), 45-62. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022016000100004>
- Taha, H.** (1997). *Urban climates and heat islands: Albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat*. *Energy and Buildings*, [Artículo]. 25(2), 99-103. <https://escholarship.org/uc/item/333232zk>
- Tumini, I.** (2012). *El microclima urbano en los espacios abiertos: Estudio de casos en Madrid* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- Therán, K. R., Rodríguez, L., Mouthon, S., & Manjarres, J.** (2019). *Microclima y confort térmico urbano*. [Artículo]. *Módulo Arquitectura CUC*, 23(1), 49-88. <https://revistascientificas.cuc.edu.co/moduloarquitecturacuc/article/view/2535/2468>
- Vásquez, A., & Romero, H.** (2007). Vegetación urbana y desigualdades socio-económicas en la comuna de Peñalolén, Santiago de Chile: Una perspectiva de justicia ambiental. Departamento de Geografía, Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/117776/VEGETACION%20URBANA%20Y%20DESIGUALDADES%20SOCIO-ECONOMICAS%20EN%20LA%20COMUNA%20DE%20PE%C3%91A%20LOLEN%2c%20SANTIAGO%20DE%20CHILE.%20UNA%20PERSPECTIVA%20DE%20JUSTICIA%20AMBIENTAL.pdf?sequence=1>
- Villanueva-Solis, Jorge, Ranfla, Arturo y Quintanilla-Montoya, Ana L.** (2013). *Isla de calor urbano: modelado dinámico y evaluación de medidas de mitigación, en ciudades de clima árido extremo*. *Información tecnológica*, 24 (1), 15-24. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000100003>

