

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE ARQUITECTURA



**EVALUACIÓN DE LAS ISLAS DE CALOR MEDIANTE EL MÉTODO DE CAÑÓN
URBANO PARA DETERMINAR EL IMPACTO DE LA COBERTURA VEGETAL
EN LA REDUCCIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL EN EL CERCADO
DE MOQUEGUA, 2024.**

TESIS

Presentado por:

Bach. Arq. Edward Miguel Oblitas Zevallos

Asesora:

Mtro. Catherine Alessandra Almonte Durand

Para obtener el título profesional de:

ARQUITECTO

TACNA – PERÚ

2024

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE ARQUITECTURA

TESIS

**“EVALUACIÓN DE LAS ISLAS DE CALOR MEDIANTE EL MÉTODO DE CAÑÓN
URBANO PARA DETERMINAR EL IMPACTO DE LA COBERTURA VEGETAL
EN LA REDUCCIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL EN EL CERCADO
DE MOQUEGUA, 2024.”**

Presentada por:

Bach. Edward Miguel Oblitas Zevallos

Tesis sustentada y aprobada el jueves 9 de julio del 2026, ante el siguiente jurado
examinador:

PRESIDENTE:	Dr. HINOJOSA VEGA Edgar Miguel
SECRETARIA:	Mg. ATENCIO ITURRY Ivette Eneida
VOCAL:	Mtro. MEDINA MENDOZA Claudia Nicole

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Edward Miguel Oblitas Zevallos, identificado con DNI 72448490, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Arquitectura de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Privada de Tacna, declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor de la Tesis titulada: "EVALUACIÓN DE LAS ISLAS DE CALOR MEDIANTE EL MÉTODO DE CAÑÓN URBANO PARA DETERMINAR EL IMPACTO DE LA COBERTURA VEGETAL EN LA REDUCCIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL EN EL CERCADO DE MOQUEGUA, 2024.", asesorado por: Mtro. Catherine Alessandra Almonte Durand, la misma que presento para obtener el título profesional de Arquitecto.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, respetando las normas internacionales de citas y referencias para fuentes consultadas.
3. La tesis presente no atenta contra los derechos de los terceros.
4. La tesis es original y no ha sido publicada ni presentada ni presentada profesional.
5. Los datos contenidos para el desarrollo de la investigación son reales no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por los expuesto, mediante el presente documento asumo responsabilidad ante la universidad y ante terceros por cualquier incidente que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como los derechos del trabajo presentado. Si se determinara alguna falta por fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad.

Tacna, julio 2026.


Edward Miguel Oblitas Zevallos
DNI: 72448490



Dedicatoria

A mis padres, Carmen y Edward, por su amor, esfuerzo y apoyo incondicional, que hicieron posible este logro.

A mi hermano, Carlos, por su compañía y constante motivación.

Y, con especial amor, a la memoria de mis queridos abuelitos y de mi prima Amy, quienes siempre vivirán en mi corazón. Aunque ya no estén físicamente conmigo, su recuerdo y cariño me acompañan siempre. Dedico también este logro a su memoria, con la certeza de que, desde donde estén, estarían felices de verme cumplir esta meta.

Con todo mi amor y gratitud, dedico este trabajo a mi familia.

Agradecimiento

Expreso mi más sincero agradecimiento a Dios por darme la fortaleza y la sabiduría para culminar esta etapa.

A mi familia y amigos, por su apoyo incondicional, confianza y motivación a lo largo de este camino.

A la Universidad Privada de Tacna, por mi formación académica, y a mi asesora, Mtro. Catherine Alessandra Almonte Durand, por su guía, dedicación y valioso acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación.

A todos ellos, mi más profunda gratitud

DATOS GENERALES

- Título de la Investigación

Evaluación de las islas de calor mediante el método de cañón urbano para determinar el impacto de la cobertura vegetal en la reducción de la temperatura superficial en el Cercado de Moquegua, 2024.

Autor

Bach. Arq. Edward Miguel Oblitas Zevallos

- Asesor

Mtro. Catherine Alessandra Almonte Durand

- Tipo de Investigación

Enfoque Cuantitativo

- Línea de Investigación

Ciudad, Territorio y Paisaje

- Localidad

Tacna-Perú

- Duración de la Investigación

04 meses

Resumen

La presente investigación analiza el fenómeno de las islas de calor urbano en el cercado de Moquegua durante el año 2024, considerando su relación con la configuración morfológica urbana y la presencia de cobertura vegetal. Este fenómeno se ha intensificado como consecuencia del crecimiento urbano, la reducción de superficies vegetadas y el incremento de áreas impermeables con alta capacidad de acumulación térmica, generando efectos sobre el confort térmico.

El estudio tiene como objetivo evaluar las islas de calor mediante la aplicación del método de cañón urbano para determinar el impacto de la cobertura vegetal en la reducción de la temperatura superficial. Para ello, se analiza la relación entre variables urbanas asociadas a la geometría del espacio construido (como la configuración de calles y edificaciones) y la distribución de áreas vegetadas dentro del área de estudio. Asimismo, se identifican sectores con mayor susceptibilidad al sobrecalentamiento y se comparan sus condiciones térmicas con aquellas que presentan mayor presencia de vegetación.

La investigación busca evidenciar el potencial regulador de la cobertura vegetal como estrategia de mitigación térmica en entornos urbanos de clima árido, contribuyendo al conocimiento sobre adaptación climática urbana y proporcionando criterios técnicos para la planificación territorial sostenible. Los resultados permitirán generar información orientada al diseño de políticas urbanas que incorporen infraestructura verde y criterios bioclimáticos para mejorar el desempeño ambiental del cercado de Moquegua.

Palabras clave: islas de calor urbano; cañón urbano; cobertura vegetal; temperatura superficial.

Abstract

This research analyzes the urban heat island phenomenon in the historic center of Moquegua during 2024, considering its relationship with urban morphological configuration and the presence of vegetation cover. This phenomenon has intensified as a consequence of urban growth, the reduction of vegetated surfaces, and the increase in impermeable areas with high thermal accumulation capacity, generating effects on thermal comfort, environmental quality, and urban habitability conditions.

The study aims to evaluate urban heat islands through the urban canyon method to determine the impact of vegetation cover on reducing surface temperature. To achieve this, the relationship between urban variables associated with the geometry of built environments—such as street and building configuration—and the distribution of vegetated areas within the study area is analyzed. Likewise, sectors with greater susceptibility to overheating are identified and their thermal conditions are compared with those presenting a greater presence of vegetation.

This research seeks to demonstrate the thermal regulation potential of vegetation cover as a mitigation strategy in urban environments with arid climates, contributing to knowledge on urban climate adaptation and providing technical criteria for sustainable territorial planning. The findings are expected to generate evidence to support urban policy formulation incorporating green infrastructure and bioclimatic criteria to improve the environmental performance of the historic center of Moquegua.

Keywords: urban heat islands; urban canyon; vegetation cover; surface temperatura.

Introducción

Frecuentemente las islas de calor urbanas tienen un impacto directo que se evidencia en la alteración del microclima, el deterioro del ambiente, el aumento de los consumos energéticos y la afectación de la salud y el bienestar de la población. Además, en el uso de electricidad, especialmente en el tiempo de verano, donde la temperatura máxima normalmente aumenta y por consecuencia se evidencia el incremento del empleo de aires acondicionados, esto consecuentemente acrecienta la contaminación del aire, así como el aumento de la cantidad de las emisiones de gases de efecto invernadero que se mantienen en nuestra atmósfera, lo que genera la alteración en el clima propio de cada ciudad. Las consecuencias de la configuración, del fenómeno de las islas de calor urbanas repercuten de manera negativa en las condiciones de vida de los habitantes de las ciudades, puesto que de igual manera suelen representar un impacto negativo para la biodiversidad de estas mismas, modificando la estructura y su fauna que viven en las diferentes zonas de la ciudad. (Manzanilla, 2022).

Se propone la siguiente pregunta ¿Cuál es la magnitud de las islas de calor urbano, determinada mediante el método de cañón urbano, y de qué manera la cobertura vegetal influye en la reducción de la temperatura superficial en el Cercado de Moquegua, 2024? mediante la cual se establece como objetivo general: evaluar la magnitud de las islas de calor urbano mediante el método de cañón urbano, a fin de determinar el impacto de la cobertura vegetal en la reducción de la temperatura superficial.

En el capítulo I se desarrolla el Planteamiento del Problema, describiendo la situación problemática, formulando el problema y estableciendo los objetivos generales y específicos, hipótesis y variables de la investigación, delimitando el ámbito de estudio y justificando la investigación a través del desarrollo de los aspectos que dan relevancia a la investigación, su viabilidad respecto a los aspectos metodológicos y los alcances y limitaciones que se pueden presentar en el proceso investigativo. En el segundo capítulo se construye el Marco Teórico, a través de la recopilación de antecedente nacionales e internacionales, la determinación de las bases teóricas y la definición de términos básicos.

En el capítulo III se propone un diseño metodológico de acuerdo a la tipología de la investigación, estableciendo su alineación con los ODS, definiendo el esquema metodológico y el índice tentativo. Finalmente, en el capítulo IV se desarrolla la medición e impacto de la cobertura vegetal en la reducción de las ICU.

INDICE

Resumen.....	8
Abstract	9
Introducción	10
Capítulo I Planteamiento del Problema	16
1.1 Descripción de la situación problemática	16
1.2 Delimitación del área de estudio.....	21
1.2.1 Delimitación espacial (ámbito geográfico).....	22
1.2.2 Delimitación temporal	22
1.3 Formulación del problema.....	22
1.3.1 Problema General.....	22
1.3.2 Problemas Específicos.....	22
1.4 Justificación.....	23
1.4.1 Importancia de la Investigación.....	23
1.4.2 Viabilidad de la Investigación	24
1.4.3 Alcances y Limitaciones de la Investigación	25
1.5 Objetivos	25
1.5.1 Objetivo General.....	25
1.5.2 Objetivos Específicos	25
Capítulo II Marco Teórico	26
2.1 Antecedentes de la investigación.....	26
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	26
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	34
2.2 Antecedentes conceptuales.....	40
2.2.1 Islas de calor	40
2.2.2 Cañón urbano	41
2.2.3 Cobertura vegetal e infraestructura verde	43
2.2.4 Bases Teóricas	44
2.3 Antecedentes contextuales	49
2.3.1 Aspectos socioeconómicos	49
2.3.2 Aspecto socio territorial.....	53
2.3.3 Aspecto socio político	60
2.4 Antecedentes normativos.....	60
Capítulo III Metodología	63
3.1 Hipótesis de la investigación.....	63

3.1.1 Hipótesis general	63
3.1.2 Hipótesis específicas	63
3.2 Variables	63
3.2.1 Variable independiente:.....	63
3.2.2 Variable dependiente	64
3.3 Tipo de investigación	65
3.4 Nivel de Investigación.....	66
3.6 Procedimientos, técnicas e instrumentos.....	66
3.6.1 Método	66
3.6.2 Procedimiento	66
3.7 Esquema metodológico	68
Capítulo IV Propuesta	69
4.1 Estrategias de mitigación de Islas de calor urbano	87
4.2 Propuesta vegetal para mitigar ICU.....	88
4.2.1 Árboles de copa contenida.....	88
4.2.2 Árboles solo en formato “columna estrecha”	89
4.2.3 Árboles ornamentales.....	91
4.3 Resultados con 40% de cobertura vegetal en secciones viales	94
4.3.1 Análisis técnico comparativo de la temperatura ambiente	100
4.3.2 Análisis técnico comparativo de la temperatura ambiente	109
4.3.3 Síntesis comparativa global.....	111
4.4. Conclusiones	111
4.5 Renders	112
Recomendaciones.....	116
Referencias Bibliográficas.....	118

FIGURAS

Figura 1 Plaza de Armas	17
Figura 2 Adoquinado vías zona monumental Moquegua	18
Figura 3 Calle Moquegua	19
Figura 4 Calle Lima	20
Figura 5 Área de estudio	21
Figura 6 Arbolado urbano	27
Figura 7 Principales medidas de mitigación de ICU	28
Figura 8 Cubiertas de madera	29
Figura 9 Modelado de la calle en software ENVI-met5.1.1	31
Figura 10 Aplicación de lineamientos en la P1-PU01	32
Figura 11 Vegetación actual y vegetación propuesta	34
Figura 12 Medidas de atenuación	38
Figura 13 Alineaciones arbóreas	45
Figura 14 Urbanismo verde Singapur	45
Figura 15 Urbanismo táctico	48
Figura 16 Micro plaza	48
Figura 17 Densidad poblacional en el área de estudio	50
Figura 18 Actividades económicas en área de estudio	52
Figura 19 Usos de suelo	54
Figura 20 Zonas de recreación pública	56
Figura 21 Sistema vial	59
Figura 22 Islas de calor identificadas	69
Figura 23 Cañón urbano calle Ancash	70
Figura 24 Cañón urbano calle Arequipa	70
Figura 25 Cañón urbano calle Ayacucho	71
Figura 26 Cañón urbano calle Callao	71
Figura 27 Cañón urbano calle Cusco	72
Figura 28 Cañón urbano calle Junín	72
Figura 29 Cañón urbano calle Libertad	73
Figura 30 Cañón urbano calle Lima	73
Figura 31 Cañón urbano calle Moquegua	74
Figura 32 Cañón urbano calle Piura	74
Figura 33 Cañón urbano calle Tacna	75
Figura 34 Cañón urbano calle Tarapacá	75
Figura 35 Calle Ancash	79
Figura 36 Calle Arequipa	79
Figura 37 Calle Ayacucho	80
Figura 38 Calle Callao	80
Figura 39 Calle Cusco	81
Figura 40 Calle Junín	81
Figura 41 Calle Libertad	82
Figura 42 Calle Lima	82
Figura 43 Calle Moquegua	83
Figura 44 Calle Piura	83
Figura 45 Calle Tacna	84
Figura 46 Calle Tarapacá	84

Figura 47 Consolidado de temperaturas	85
Figura 48 Sección B – B con 40% cobertura vegetal en retiro lateral derecho.....	87
Figura 49 Sección A - A	87
Figura 50 Sección B - B	88
Figura 51 Tecoma stans (Guarán o tronco de oro)	88
Figura 52 Schinus molle juvenil en formato urbano (Molle serrano podado).....	89
Figura 53 Brachychiton populneus var. “columnar” (árbol botella columna).....	90
Figura 54 Cupressus sempervirens “stricta” (ciprés italiano columnar)	90
Figura 55 Jacarandá (Jacaranda mimosifolia) juvenil podado	91
Figura 56 Bougainvillea spectabilis formateada (buganvilla arbustiva)	92
Figura 57 Duranta erecta “Gold”	92
Figura 58 Calle Ancash con 40% de cobertura vegetal.....	94
Figura 59 Calle Arequipa con 40% de cobertura vegetal	94
Figura 60 Calle Ayacucho con 40% de cobertura vegetal.....	95
Figura 61 Calle Callao con 40% de cobertura vegetal	95
Figura 62 Calle Cusco con 40% de cobertura vegetal.....	96
Figura 63 Calle Junín con 40% de cobertura vegetal.....	96
Figura 64 Calle Libertad con 40% de cobertura vegetal	97
Figura 65 Calle Lima con 40% de cobertura vegetal	97
Figura 66 Calle Moquegua con 40% de cobertura vegetal	98
Figura 67 Calle Piura con 40% de cobertura vegetal.....	98
Figura 68 Calle Tacna con 40% de cobertura vegetal.....	99
Figura 69 Calle Tarapacá con 40% de cobertura vegetal.....	99
Figura 70 Consolidado de temperatura por calles.....	100
Figura 71 Calle Ancash con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.....	103
Figura 72 Calle Arequipa con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.....	103
Figura 73 Calle Ayacucho con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.	104
Figura 74 Calle Callao con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.	104
Figura 75 Calle Cusco con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.....	105
Figura 76 Calle Junín con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.....	105
Figura 77 Calle Libertad con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.	106
Figura 78 Calle Lima con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.....	106
Figura 79 Calle Moquegua con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.	107
Figura 80 Calle Piura con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.....	107
Figura 81 Calle Tacna con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.....	108
Figura 82 Calle Tarapacá con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.....	108
Figura 83 Consolidado de temperatura por calles.....	109
Figura 84 Render 1	112
Figura 85 Render 2	113
Figura 86 Render 3	113
Figura 87 Render 4	114
Figura 88 Render 5	114
Figura 89 Render 6	115
Figura 90 Render 7	115

TABLAS

Tabla 1 Información bade del entorno urbano.....	26
Tabla 2 Variables climáticas representadas espacialmente	27
Tabla 3 Dinámicas ambientales o fenómenos urbanos.....	27
Tabla 4 Análisis e interpretación.....	27
Tabla 5 Síntesis comparativa	46
Tabla 6 Usos de suelo	54
Tabla 7 Recreación pasiva	56
Tabla 8 Normatividad	62
Tabla 9 Síntesis General de indicadores	64
Tabla 10 Relación H/W	64
Tabla 11 Operacionalización de variables 1.....	65
Tabla 12 Operacionalización de variables 2.....	65
Tabla 13 Cuadro comparativo.....	76
Tabla 14 Valores para la interpretación de datos	76
Tabla 15 Tipo de cañón por calle.	76
Tabla 16 Comparativo	100
Tabla 17 Muro 1	110
Tabla 18 Muro 2	110
Tabla 19 Síntesis comparativa global	111

Capítulo I Planteamiento del Problema

1.1 Descripción de la situación problemática

El desarrollo de las islas de calor urbanas es uno de los fenómenos urbanos más documentados a nivel mundial, sin embargo, este fenómeno ha sido poco estudiado en las grandes ciudades. En el Perú SENAMHI (2022) hizo un estudio donde se determinaron las Islas de Calor Urbano (ICU) en la jurisdicción geográfica de Lima en el periodo comprendido entre los años 2018 hasta el año 2020, utilizando 6 estaciones meteorológicas en el espacio urbano (Jesús María, La Molina, San Juan de Lurigancho, Santa Anita, San Martín de Porres y Ate); y 2 estaciones en el espacio rural (Ñaña y Ancón).

Según varios estudios, aumentar las superficies de las áreas urbanas verdes ayuda a disipar el exceso de calor retenido por el concreto y el asfalto. Sin embargo, esta propuesta no es tan fácil como parece debido a que las áreas urbanas verdes presentan una tendencia a disminuir en sus superficies en las grandes ciudades. (Carrillo 2005). Por lo tanto, lo ideal sería preservar y proteger las áreas verdes urbanas de cada ciudad e implementar programas de reforestación para reducir el impacto de las islas de calor urbano. El uso de azoteas verdes y la pintura blanca en las calles y edificios de las ciudades sería una alternativa viable que ayudaría a reducir las altas temperaturas registradas durante el verano y, como resultado, la intensidad de las islas de calor urbano. (SENAMHI, 2022)

Según Candanedo y Villarreal (2020) las principales causas y consecuencias del efecto ICU son: el calor por los seres humanos denominado antropogénico, la configuración de una geometría urbana no eficiente, la congestión vehicular y la selección de tipos de materiales de construcción lo cual contribuye a la generación de islas de calor urbanas. Estas actividades pueden aumentar el consumo de energía, incrementando de manera radical la contaminación y enrarecimiento de la atmósfera y la emisión de los temidos gases de efecto invernadero, afectando la calidad del agua, el confort y la salud humana.

El Centro histórico de Moquegua es el centro administrativo gubernamental que alberga diversas actividades comerciales y equipamientos urbanos, que generan una gran movilidad urbana. Dado que los habitantes que están asentados en lugares distantes deben movilizarse para cumplir con sus actividades laborales y educativas mediante la utilización de vehículos propios o del sistema de transporte público, la movilidad urbana se convierte en una posible causa de la

generación de islas de calor en la ciudad. Estos vehículos generan un 78% y un 98% de gases de efecto invernadero y en algunos casos pueden permanecer en el área urbana generando el aumento de la temperatura.

Los efectos de las temperaturas extremas en la salud son diversos y bien documentados. Es importante resaltar la gran cantidad de pruebas que se basan en los registros de muertes durante las olas de calor, que se han reportado en varios lugares del mundo debido a su gran importancia. (MUNILIMA, 2019)

El Centro Histórico de Moquegua se caracteriza por un alto grado de consolidación urbana, lo cual ha generado un dinamismo económico que ejerce presión sobre el espacio público. Se caracteriza por una traza urbana ordenada, con calles rectas y manzanas regulares, resultado de su planificación virreinal, con predominio de edificaciones bajas (de uno a dos niveles), construidas con materiales tradicionales como adobe, piedra y quincha. La Plaza de Armas y algunas plazuelas cercanas (como la del Museo Contisuyo) actúan como espacios de ventilación, estas áreas abiertas permiten que el viento se redistribuya hacia calles adyacentes, especialmente si están arboladas y no se encuentran obstruidas por edificaciones de gran masa.

Figura 1
Plaza de Armas



En términos de movilidad urbana, el Centro Histórico de Moquegua enfrenta una tensión constante entre la conservación patrimonial y las exigencias de accesibilidad. El tránsito vehicular es moderado a alto durante horas pico, con una circulación lenta en calles principales como Ayacucho, Moquegua y Lima. La

movilidad peatonal es predominante en áreas cercanas a la plaza de armas, aunque las veredas angostas y la falta de rampas o señalización accesible limitan la seguridad y comodidad del desplazamiento para personas con movilidad reducida.

La infraestructura vial está pavimentada, con veredas estrechas en algunas calles del damero antiguo, la composición de las vías urbanas está dominada por pavimentación articulada, que representa el 59.2 % del total. Le siguen la pavimentación rígida con un 29.5 % y la flexible con un 11.3 %. Todos estos tipos de pavimentos presentan una característica en común: su color oscuro, lo cual influye directamente en la absorción de la radiación solar, intensificando las islas de calor urbano. Además, las fisuras, hundimientos y desgaste superficial contribuyen a una mayor rugosidad, lo que a su vez incrementa la capacidad de retención de calor. Todo lo cual constituye un factor determinante en el aumento de la temperatura superficial.

Figura 2
Adoquinado vías zona monumental Moquegua



La plaza de armas es el principal espacio verde dentro del Centro histórico de Moquegua cuenta con: jardines ornamentales con césped cuidado y parterres florales, árboles de porte medio y alto (como ficus, molles y jacarandás) que brindan sombra y moderación térmica. En calles como Ayacucho, Ancash y Moquegua, la vegetación es discontinua y se limita principalmente a árboles aislados en veredas, muchos de ellos con raíces expuestas o espacio reducido para su crecimiento, las

plazuelas menores, como la del Museo Contisuyo, cuentan con jardines formales de pequeña escala, con arbustos ornamentales y algunos árboles jóvenes. La arborización lineal es escasa y no hay continuidad en los ejes verdes. El ancho reducido de las veredas y la presencia de cableado aéreo impiden el desarrollo pleno de especies arbóreas en muchas calles, el suelo urbano, altamente impermeabilizado, reduce la infiltración y dificulta el crecimiento saludable de la vegetación.

Figura 3
Calle Moquegua



A pesar de que el área de estudio abarca una superficie total de 206,999 m², las áreas destinadas a recreación pasiva y cobertura verde suman únicamente 8,020 m² (0.802 ha), distribuidas entre el Parque Amparo Baluarte (820 m²), Parque Alameda (3,660 m²), Plaza del Recreo (480 m²), Barrio Belén (410 m²) y la Plaza de Armas (2,650 m²). Esta superficie representa apenas el 3.87 % del área total de estudio, evidenciando una limitada presencia de espacios verdes dentro del entorno urbano.

Asimismo, considerando la población proyectada al año 2026 de 2,604 habitantes, la disponibilidad de área verde alcanza solo 3.08 m² por habitante, valor significativamente inferior a los 9 m² por habitante recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Esta situación refleja un déficit importante de espacios verdes capaces de brindar servicios ecosistémicos, mejorar el confort térmico y contribuir a la mitigación de las islas de calor urbanas.

La problemática se ve agravada por la ausencia de lineamientos urbanísticos locales actualizados que promuevan la integración efectiva de infraestructura verde en el diseño y gestión de los espacios públicos. En consecuencia, la planificación urbana no responde adecuadamente a los desafíos ambientales contemporáneos, comprometiendo la sostenibilidad del entorno construido y la calidad de vida de la población, que percibe una creciente sensación de incomodidad térmica debido a las elevadas temperaturas y la escasa presencia de vegetación.

El Plan Específico de la Zona Monumental (ZRE-7) propone estrategias para mejorar la calidad urbana, incluyendo la pacificación del tránsito mediante la creación de bucles vehiculares y la ampliación de áreas verdes. Estas medidas buscan reducir la congestión vehicular y mejorar la calidad del aire en el centro histórico.

La falta de sombra efectiva en el área urbana constituye un factor determinante en la generación de calor superficial y en la intensificación del efecto de isla de calor, esta problemática es especialmente evidente en los tramos correspondientes a la calle Lima, calle Moquegua, calle Ayacucho, calle Junín y calle Cuzco, donde la exposición directa a la radiación solar se mantiene constante hasta aproximadamente las 3:00 p.m., debido a la baja altura de las edificaciones y la escasa presencia de elementos sombreados.

Figura 4
Calle Lima

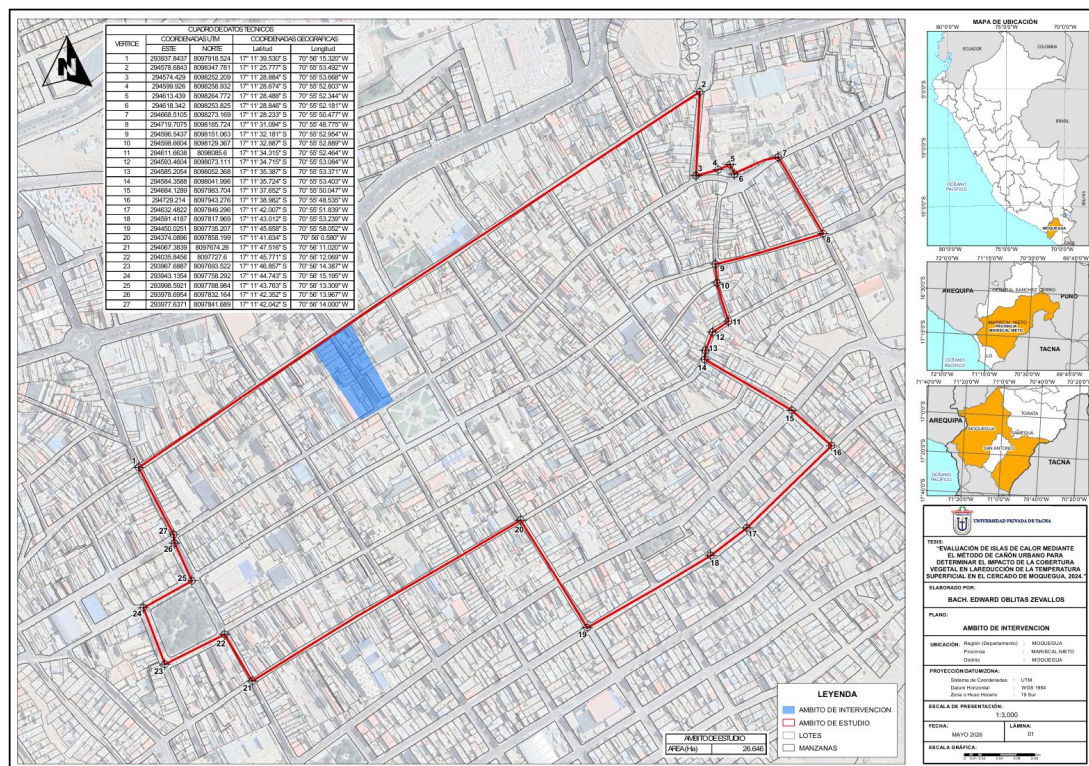


Esta combinación de factores (alta densidad poblacional, baja altura edificatoria, congestión vehicular, ausencia de árboles, pavimentos térmicamente desfavorables y limitada ventilación) convierte al espacio público del Centro Histórico de Moquegua en un entorno poco confortable durante buena parte del día. Particularmente en zonas de alta densidad comercial y tránsito peatonal, estas condiciones reducen la calidad del espacio urbano, afectan negativamente la percepción de habitabilidad y dificultan el desarrollo de actividades al aire libre.

Para hacer una prospectiva en la planeación y proyección de diversas intervenciones de carácter puntual en el espacio urbano, es esencial que los responsables de la planificación tengan un conocimiento lo más amplio y detallado de las condiciones de aplicación, la eficiencia y eficacia de las intervenciones, los costos que se puedan generar y otras informaciones útiles para la toma de decisiones. En este caso, es necesario organizar la información en categorías distintas tales como: Arborización urbana, espacios verdes, generación de zonas y espacios de sombra artificial, pautas prácticas y eficientes en los procesos de diseño.

1.2 Delimitación del área de estudio

Figura 5
Área de estudio



Nota: Ver plano en anexo N°4.

1.2.1 Delimitación espacial (ámbito geográfico)

Por el norte: Con la calle Lima (A) en línea recta, desde la calle Piura (1) hasta la calle Tarapacá (7).

Por el este: Con línea quebrada de 3 tramos; primer tramo calle Tarapacá (7), segundo tramo calle Junín (D) y tercer tramo calle Callao (6).

Por el sur: Con línea quebrada de 3 tramos; primer tramo calle Ilo (F), segundo tramo calle La Libertad (2) y tercer tramo con calle Cusco (E)

Por el oeste: Con línea quebrada de 5 tramos; primer tramo calle Piura (1), segundo tramo calle Junín (D), tercer tramo calle Lambayeque, cuarto tramo calle Ayacucho (C) y quinto tramo calle Piura (1).

1.2.2 Delimitación temporal

La investigación analizará el comportamiento del fenómeno de islas de calor urbano en el año 2024.

1.2.3 Delimitación temática

La investigación se centra en el análisis de la relación entre la configuración morfológica urbana, la cobertura vegetal y la intensidad de las islas de calor urbano en el Centro Histórico de Moquegua, con el propósito de identificar y medir estrategias de mitigación basadas en la cobertura vegetal.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema General

¿De qué manera la evaluación de la magnitud de las islas de calor urbano, mediante el uso del método de cañón urbano, permitirá determinar el impacto de la cobertura vegetal en la reducción de la temperatura superficial en el Centro Histórico de Moquegua, 2024?

1.3.2 Problemas Específicos

PE 1: ¿Cuáles son las zonas con presencia de islas de calor urbano identificadas mediante el método de cañón urbano en el Cercado de Moquegua, 2024?

PE 2: ¿De qué manera la radiación solar que incide sobre las superficies urbanas expuestas influye en el comportamiento térmico del corredor vial seleccionado en el cercado de Moquegua 2024?

PE 3: ¿Cuál es el impacto de la cobertura vegetal en la mitigación de las islas de calor urbano en el Cercado de Moquegua, 2024?

1.4 Justificación

1.4.1 Importancia de la Investigación

El incremento de las temperaturas urbanas constituye uno de los principales desafíos ambientales y sociales asociados al cambio climático en las ciudades contemporáneas. Diversas investigaciones señalan que las áreas urbanas tienden a comportarse como “islas de calor” debido a la concentración de superficies impermeables, como pavimentos asfaltados, concreto y edificaciones que absorben y acumulan energía térmica proveniente de la radiación solar. Esta situación afecta directamente la calidad ambiental y el confort térmico de la población urbana. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza – 2019)

La importancia de esta investigación radica en la necesidad de comprender cómo la radiación solar interactúa con las superficies urbanas del Centro Histórico de Moquegua, permitiendo identificar sectores con mayor acumulación térmica y susceptibilidad a la formación de islas de calor urbanas. Este análisis resulta relevante debido a que el incremento de temperatura en espacios urbanos no solo genera discomfort térmico, sino también riesgos para la salud pública, especialmente en poblaciones vulnerables como adultos mayores, niños y personas con enfermedades respiratorias o cardiovasculares.

Asimismo, el estudio adquiere relevancia en el marco de las políticas de adaptación al cambio climático y desarrollo urbano sostenible, promovidas por organismos internacionales como la CEPAL (2018), que destacan la necesidad de implementar estrategias de planificación urbana capaces de reducir los efectos del calentamiento global en las ciudades. En este sentido, la investigación permitirá generar información técnica sobre el comportamiento térmico de los corredores urbanos de Moquegua mediante diagramas solares y análisis de exposición a la radiación, contribuyendo al diseño de futuras estrategias de mitigación, tales como

incremento de cobertura vegetal, uso de materiales urbanos reflectantes y planificación de espacios públicos climáticamente eficientes.

CEPAL (2018) plantea la importancia de intervenir desde el punto de vista de la Agenda 2030, se pone un fuerte énfasis en la lucha contra el cambio climático, reconociendo que los resultados obtenidos hasta la fecha son adversos y se está disminuyendo la capacidad de todas las naciones para conseguir un desarrollo sostenible. El cambio climático se considera uno de los principales desafíos del siglo XXI por sus causas y consecuencias a nivel mundial, además de sus efectos regionales variados y desiguales. El cambio climático se puede considerar como la mayor externalidad de carácter negativo que afecta al sistema productivo desde una perspectiva económica.

CEPAL (2018) señala la necesidad de conocer cuáles son los mecanismos más efectivos para atenuar el impacto de las islas de calor, para proponer políticas de planificación urbana y regional que resuelvan de manera eficaz los problemas derivados de las islas de calor urbano. Por tanto, esta investigación se justifica por su aporte científico y aplicado al entendimiento de las islas de calor urbanas en Centro Histórico de Moquegua, proporcionando herramientas para mejorar la sostenibilidad urbana, el confort ambiental y la resiliencia climática de la ciudad frente a los efectos del cambio climático.

1.4.2 Viabilidad de la Investigación

Considero que el presente estudio es pertinente a causa de que responde a una problemática real y relevante, que permitirá aportar conocimientos que contribuyan a elaborar herramientas de gestión que permitan enmarcar propuestas sostenibles para mitigar los efectos adversos de las islas de calor urbano y con ello orientar medidas de adaptación destinadas a mejorar la calidad de vida y reducir la vulnerabilidad de los habitantes, garantizando la salud de los residentes y su capacidad de respuesta, sobre todo en un contexto de cambio climático.

El estudio es factible debido al acceso a información de estudios hechos en países latinoamericanos, estudios desarrollados en el marco del convenio específico de cooperación interinstitucional entre el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología y la Municipalidad Metropolitana de Lima, donde se desarrolló un estudio de determinación de la intensidad de islas de calor urbana en la provincia de Lima en función de las temperaturas del aire de la red de estaciones meteorológicas del SENAMHI, con la información obtenida sobre la caracterización de las ICU

contribuye, principalmente, en la elaboración de herramientas de gestión que permitan enmarcar propuestas sostenibles para mitigar los efectos adversos de este fenómeno y con ello orientar medidas de adaptación destinadas a mejorar la calidad de vida y reducir la vulnerabilidad de la población.

Asimismo, la realización del trabajo de investigación dispone de los medios técnicos y metodológicos necesarios, con un presupuesto adecuado y realista y para cumplir con los plazos establecidos.

1.4.3 Alcances y Limitaciones de la Investigación

Limitaciones metodológicas:

Por el tamaño y dimensiones del ámbito de estudio, la investigación y el trabajo de campo no afrontara limitaciones en la recolección de información, asimismo la metodología a ser aplicada permitirá encontrar relaciones significativas entre variables en los datos, garantizando la fiabilidad y contrastabilidad de los datos que sean obtenidos. Asimismo, no se evidencian obstáculos significativos para determinar una tendencia y una correlación entre las variables de estudio. Considero como una limitación importante la carencia de estudios previos sobre el tema de investigación en el distrito de Moquegua.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Evaluar la magnitud de las islas de calor urbano mediante el método de cañón urbano, a fin de determinar el impacto de la cobertura vegetal en la reducción de la temperatura superficial en el Cercado de Moquegua, 2024.

1.5.2 Objetivos Específicos

OE 1: Identificar las zonas con presencia de islas de calor urbano mediante el método de cañón urbano en el Cercado de Moquegua, 2024.

OE 2: Determinar la influencia de la radiación solar incidente sobre las superficies urbanas expuestas en el comportamiento térmico del corredor vial seleccionado en el Cercado de Moquegua 2024.

OE 3: Determinar el impacto de la cobertura vegetal propuesta en la mitigación de las islas de calor urbano en el Cercado de Moquegua, 2024.

Capítulo II Marco Teórico

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Tesis: “Evaluación de la isla de calor urbana en Zaragoza, España”

Autor: Daniel Eric Sanjinés Coral

La tesis doctoral de Daniel Eric Sanjinés Coral desarrolla una metodología integral para la evaluación del efecto de la isla de calor urbana (ICU) y su aplicación en la identificación de problemáticas energéticas y de planificación urbana en la ciudad de Zaragoza, España. Este estudio combina herramientas de teledetección, sistemas de información geográfica (SIG) y modelado climático para generar un Mapa Analítico del Clima Urbano (MACU) que permite tomar decisiones estratégicas desde la perspectiva ambiental.

La metodología aplicada por Sanjinés (2013) a través de los mapas del clima urbano son herramientas de información y evaluación que integran factores climáticos y consideraciones de planificación en una representación espacial bidimensional con el objetivo de representar el clima urbano y sus problemáticas. Para elaborar este tipo de mapas es necesario realizar en primer lugar un Mapa Analítico del Clima Urbano donde se visualizan las características climáticas, geofísicas y espaciales del entorno urbano. Una vez compilada la información en el Mapa Analítico del Clima Urbano, el próximo paso será encontrar mejoras de ordenación y planeación del territorio en un Mapa de Recomendación del Clima Urbano donde se incluyen instrucciones de planificación urbana.

Tabla 1
Información bade del entorno urbano

Uso de suelo	Residencial, comercial, recreativo, otros
Morfología urbana	Trazado de calles, manzanas, altura edificación
Cobertura Vegetal	Parques, jardines, arbolado urbano
Superficies impermeables	Asfalto, concreto, techos
Presencia cuerpos de agua	Rios, canales, fuentes urbanas

Tabla 2
Variables climáticas representadas espacialmente

Temperatura del aire	Islas de calor urbano, gradientes térmicos
Temperatura superficial	Elementos expuestos
Velocidad y dirección del viento	Canales de viento, zonas de estancamiento
Radiación solar	Sombra versus exposición directa
Confort térmico	Índices de medición

Figura 6
Arbolado urbano



Tabla 3
Dinámicas ambientales o fenómenos urbanos

Islas de calor urbano ICU	Zonas con sobrecalentamiento urbano
Zonas acumulación contaminantes	Por baja ventilación
Áreas e ventilación	Corredores eólicos
Zonas riesgo por falta confort	Escuelas, plazas, mercados, otros

Tabla 4
Análisis e interpretación

Zonificación climática urbana	Clasificación de zonas según su desempeño climático (zona fresca, zona crítica, etc.)
-------------------------------	---

Áreas prioritarias intervención	Lugares que requieren mitigación (verde urbano, ventilación, sombreado)
Relación causa - efecto	“alta densidad + poca vegetación = ICU

Las recomendaciones o propuestas sugeridas por esta metodología se agrupan en: áreas sugeridas para reforestación urbana, diseño de corredores verdes y eólicos, mejoras en el albedo urbano (colores claros, cubiertas vegetales) e intervenciones basadas en clima para mejorar calidad de vida. Las medidas de mitigación del clima urbano se enfocan en proceder mediante tres grupos de actuación: reducción de las temperaturas superficiales mediante el uso de materiales adecuados al entorno urbano y a la edificación, incremento de zonas verdes en el entorno urbano y planeamiento urbano que contemple la mitigación como una prioridad. (Sanjinés, 2013)

Figura 7
Principales medidas de mitigación de ICU

<i>Mesoescala (Entorno urbano)</i>	<i>Microescala (Manzanas y calles)</i>
Introducción de vegetación y superficies de agua.	Mejorar el diseño de calles considerando la relación Altura edificios-Anchura de calles (Sky View Factor) y el sombreado de los edificios.
Reducción del calor antropogénico (industria, edificios y tráfico).	Mejorar la ventilación de las calles orientando correctamente las calles (Efecto cañón urbano)
Uso apropiado de la ventilación aprovechando los vientos y las características topográficas de cada región.	Introducir vegetación en el entorno urbano.
	Decremento del albedo en superficies urbanas.

El uso adecuado de vegetación en el entorno de los edificios puede ser muy significativo en el impacto de la temperatura urbana. En el estudio se concluye que los edificios rodeados por grava sin ningún tipo de vegetación consumen 20-30% más energía en refrigeración que los edificios rodeados por césped y vegetación. El impacto de los árboles además de contribuir en la mitigación del efecto ICU han demostrado ser mecanismos de ahorro energético para los edificios. Asimismo, se ha determinado que en un edificio con cubierta verde, la temperatura es de 4 a 5 °C

menor a la temperatura ambiente; la combinación de cubiertas verdes con cubiertas reflejantes reduce en mayor medida la temperatura superficial de las cubiertas en edificios. (Sanjinés, 2013)

Los aspectos a ser considerados en un planteamiento urbano para mitigar el efecto de ICU de acuerdo a su escala espacial se muestran en la siguiente figura.

Figura
Cubiertas de madera

8



El aspecto más importante de esta tesis es el desarrollo de una metodología que permite identificar el fenómeno de Isla de Calor Urbana superando las barreras que limitan su evaluación: analizar y ponderar en su conjunto las variables que la causan. Esta metodología se ha basado en la hipótesis de que es posible estimar la Isla de Calor Urbana mediante el estudio del entorno urbano. Como se ha visto a lo largo de esta tesis doctoral, el incremento de la temperatura del aire debido a la modificación del suelo impacta directamente en el confort y calidad de vida de los habitantes.

Tesis: “Propuesta de lineamientos para mitigar las islas de calor urbano en Ambato, Ecuador”

Autor: Mayorga Alvarado Ana Paula

La presente tesis tiene como propósito establecer lineamientos estratégicos para mitigar las Islas de Calor Urbano (ICU) en la ciudad de Ambato, específicamente en el polígono urbano P1-PU01. Este trabajo se enfoca en el espacio público como elemento clave para mejorar la calidad de vida de los habitantes, promoviendo el

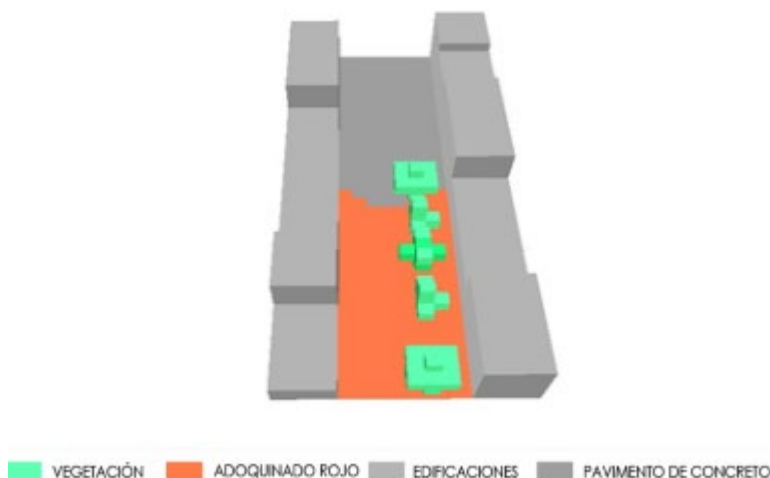
confort térmico urbano. La autora, desarrolló una investigación con enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos para entender el comportamiento térmico en distintos sectores urbanos de la ciudad. Se identificaron puntos críticos con temperaturas superficiales mayores a 28 °C, lo que evidenció una clara problemática de sobrecalentamiento en zonas densamente construidas.

La ciudad de estudio Ambato, presenta un crecimiento discontinuo ya que tiene un modelo centralizado donde su desarrollo se da en las periferias generando un crecimiento radial de la mancha urbana y se observa su consolidación en el área urbano específicamente en la zona central. El índice de vulnerabilidad al cambio climático de la ciudad, especialmente en las dimensiones de exposición y sensibilidad es superior al promedio nacional. Eso resulta un riesgo altamente significativo para la urbe. (Mayorga,2023)

Según Mayorga (2023), aunque la red vial del centro urbano de Ambato presenta una capacidad limitada para integrar infraestructura verde, se han identificado oportunidades innovadoras que permiten su incorporación. Entre estas alternativas destacan el uso de edificaciones para implementar terrazas y fachadas verdes, así como la inclusión de vegetación en elementos del mobiliario urbano, tales como paradas de autobuses, quioscos, servicios higiénicos y postes.

El estudio se apoyó en el uso de herramientas de simulación como ENVI-met 5.1.1, lo que permitió modelar escenarios urbanos actuales y propuestos con distintas configuraciones de vegetación y materialidad. Se realizaron modelados tridimensionales de tres calles seleccionadas dentro de la zona de estudio, y se simularon condiciones climáticas a las 12:00 del día, cuando la carga térmica es máxima. Las variables analizadas incluyeron la temperatura superficial, el índice PMV (Predicted Mean Vote) y el confort térmico.

Figura 9
Modelado de la calle en software ENVI-met5.1.1



Una parte importante de la metodología consistió en la clasificación del área según las Zonas Climáticas Locales (LCZ), lo que permitió relacionar la temperatura superficial con los tipos de edificación y cobertura presentes. A partir de los resultados, se diseñaron lineamientos que priorizan la implementación de infraestructura verde en las calles y plazas de Ambato. Estas propuestas incluyen la incorporación de árboles de sombra, vegetación arbustiva, pavimentos permeables y mobiliario urbano que fomente el uso del espacio público sin aumentar la temperatura. Las simulaciones demostraron una mejora significativa en el confort térmico, especialmente en las zonas más densamente edificadas.

Se puede comprobar la existencia de las Islas de Calor Urbano en la P1-PU01, como un problema latente en el espacio público por la existencia de altas temperaturas superficiales que se generan por tipo de edificaciones o cobertura del suelo, también se evidencio que la Zona Climática Local A y B al encontrarse en espacios donde existe vegetación, son las zonas donde existe la menor temperatura superficial por lo que se tiene en cuenta como la vegetación ayuda a la reducción de esta temperatura. El espacio público como las calles debe estar diseñado tomando en cuenta todas las condiciones climáticas que ocurren en la ciudad, para que las personas que hagan uso de éste se encuentren un espacio cómodo para realizar sus actividades cotidianas. (Mayorga,2023).

Figura 10
Aplicación de lineamientos en la P1-PU01



Finalmente, el estudio concluye con una propuesta integral de intervención urbana para el polígono P1-PU01, destacando la importancia de integrar criterios climáticos en los planes municipales y en los instrumentos de planificación urbana. Esta tesis representa un valioso aporte técnico y conceptual para avanzar hacia una ciudad más resiliente al cambio climático y con mejor calidad de vida para sus habitantes.

Tesis: “Propuesta de reducción del efecto isla de calor urbano superficial en Curicó, Chile”

Autor: Daniel Moya Castillo

El presente trabajo aborda el fenómeno de las Islas de Calor Urbano Superficial (ICUS) en la ciudad de Curicó, ubicada en la Región del Maule, Chile. La investigación se enmarca en el contexto de un crecimiento urbano acelerado que ha reemplazado extensas coberturas vegetales por superficies artificiales como concreto y asfalto, lo que ha provocado alteraciones en el clima local, particularmente durante el verano.

En el entorno terrestre ocurren constantemente procesos físicos, entre ellos el comportamiento climático, que al interactuar con áreas urbanas da origen al clima urbano, caracterizado por variaciones en temperatura, humedad y precipitaciones.

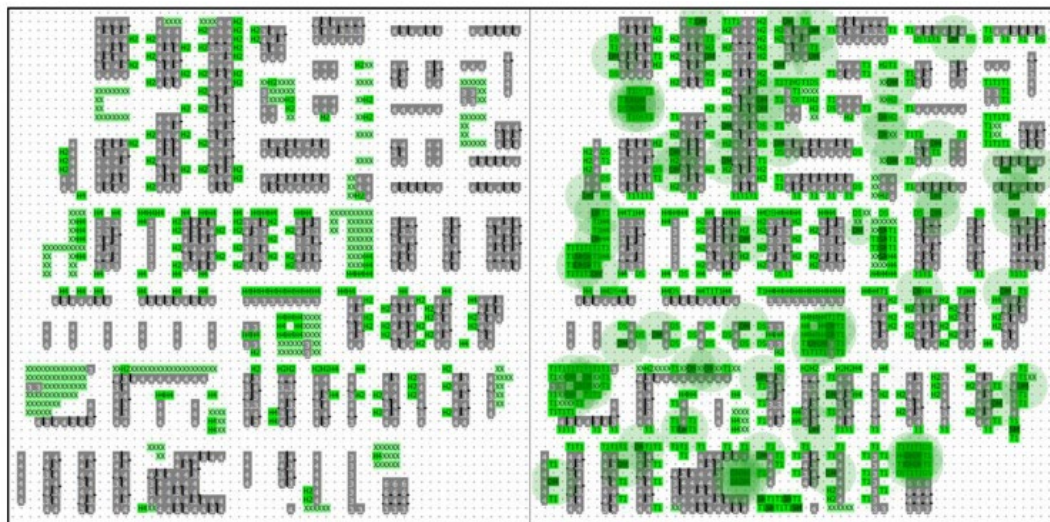
Estos cambios se intensifican en el contexto del cambio climático global, cuya principal causa es la emisión de gases de efecto invernadero.

En las ciudades, el cambio climático se manifiesta a través del aumento de eventos extremos como olas de calor, estas condiciones intensifican el efecto isla de calor y elevan los niveles de contaminación, los efectos negativos se perciben en dos escalas dentro del entorno urbano: la mesoescala, que abarca grandes sectores de la ciudad e incluye factores naturales y construidos; y la microescala, que se refiere a espacios reducidos como calles o plazas (Tumini, 2013).

Frente a este escenario, el objetivo principal de esta tesis fue proponer estrategias de resiliencia urbana mediante el rediseño de espacios públicos y la implementación de infraestructura verde, con el fin de reducir los efectos de la isla de calor urbano. El enfoque metodológico fue cuantitativo y se centró en el análisis del verano de 2020, periodo identificado como el más cálido y seco según los registros. Se utilizaron sensores remotos para capturar datos de temperatura superficial, se modelaron paisajes urbanos actuales y propuestos, incorporando distintas tipologías de vegetación y materiales, con el fin de observar su impacto en la temperatura, humedad relativa y radiación solar.

El análisis comparativo entre imágenes permitió evaluar el estado actual y la propuesta de vegetación en el área de estudio. En la observación de terreno se identificó la presencia de césped (vegetación gramínea) en plazas y sitios eriazos, y árboles de entre 2 y 5 metros de altura en pasajes y avenidas principales. En contraste, la propuesta diseñada en ENVI-met contempla la plantación de árboles de 3 a 5 metros de altura en pasajes y árboles de 10 a 15 metros para calles principales, plazas y sitios eriazos. La simulación también incluye un halo visible en los árboles, que representa la cobertura de follaje, reflejando el impacto real de las especies sugeridas según la propuesta de Ley de Arbolado Urbano (2018).

Figura 11
Vegetación actual y vegetación propuesta



Los resultados demostraron que la implementación de infraestructura verde, particularmente árboles de mayor altura y vegetación densa, tiene un efecto significativo en la reducción de la temperatura superficial y en la mejora del confort térmico. Esta medida es considerada la más viable, dado que otros factores urbano-geográficos son difíciles de modificar. Por ello, se plantea que estas acciones de mitigación puedan escalarse a nivel de ciudad.

Finalmente, se plantearon recomendaciones concretas para la planificación urbana de Curicó, orientadas a fortalecer los instrumentos de planificación territorial con un enfoque de justicia climática, aumentar la cobertura vegetal y promover el diseño urbano adaptativo frente al cambio climático. Esta tesis contribuye al desarrollo de herramientas prácticas y de base científica para enfrentar los efectos del calentamiento urbano, y representa un esfuerzo por integrar la dimensión climática en la planificación y el diseño de las ciudades chilenas.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Tesis: “Isla de calor urbano y confort térmico en Huanchaco, Perú”

Autor: Yanavilca Anticona, Omar Cristhian

El autor plantea la problemática acerca de las características físico espaciales relacionadas a las islas de calor urbano (ICU) y su impacto en el confort térmico de los espacios públicos en el sector El Progreso del distrito de Huanchaco, en Trujillo, Perú. Esta zona periurbana presenta una constante exposición a la radiación solar durante gran parte del año, lo cual acentúa las condiciones térmicas adversas y limita

el uso y disfrute del espacio público. El autor formula como hipótesis que las condiciones físico-espaciales del sector, así como factores ambientales y antropogénicos, contribuyen a la formación de microclimas urbanos desfavorables.

A través de una investigación de tipo básica, descriptiva y explicativa, de enfoque correlacional-causal y no experimental, se analizaron cuatro componentes principales: las actividades humanas, la materialidad del espacio, la geometría de las viviendas y los factores medioambientales. Se emplearon técnicas como mediciones térmicas con instrumentos meteorológicos portátiles y simuladores digitales como SketchUp 2020 y 3D Sun-Path. La metodología incluyó encuestas, mapas temáticos y modelos digitales para identificar las relaciones entre la morfología urbana y las variables térmicas. Los resultados evidencian que el emplazamiento periurbano, la trama urbana multiazimutal y la orientación NO-SE influyen significativamente en el comportamiento térmico del entorno. (Yanavilca, 2021)

Entre los factores ambientales más influyentes se encuentran la temperatura exterior, la radiación solar y el flujo de aire, los cuales condicionan la percepción del confort térmico de los usuarios. Asimismo, se identificó que las actividades humanas relacionadas con la frecuencia de uso, la permanencia y la naturalidad del espacio público también afectan esta percepción. Luego haber aplicado las técnicas de recolección de datos a través de los instrumentos respectivos, estos proyectaron resultados de tipo cualitativo y cuantitativo, en primera instancia relacionados principalmente a las características urbanas del objeto de estudio tales como ancho de CVU, altura de edificación, área construida, volumen construido, etc., así como el nivel de percepciones de confort térmico de los habitantes en cuanto a imagen, mobiliario, etc. Los resultados cuantitativos obtenidos estuvieron vinculados a la toma de datos climáticos (temperatura, humedad relativa, vientos etc.) y cualidades físicas de los materiales principalmente el albedo. (Yanavilca, 2021)

De esta manera se comprueba que existe una relación ambiental directa del entorno periurbano agrícola natural con las áreas urbanas ya consolidadas (Urb. La Alameda, Urb. San Isidro, Condominio Andalucía, etc.) que sirven de mecanismo urbano regulador de la temperatura de áreas con alta compacidad urbana hacia las áreas rurales circundantes, que favorece sus índices de confort térmico.

Concluyendo que el emplazamiento periurbano del sector le otorga un beneficio térmico positivo debido a que la compacidad urbana entendida como la eficiencia edificatoria y su relación con el uso del suelo del sector, es de baja consolidación e incipiente urbanísticamente, además que está cercada por dos flancos agrícolas lo

cual actúa como catalizador de la energía térmica. La tesis propone una serie de recomendaciones a efectos de lograr mejores estándares de confort térmico en los espacios públicos que, orientadas a partir de los parámetros de selección de materiales, acondicionamiento ambiental urbano con elementos principalmente de origen natural como coberturas verdes, setos, arbustos que deberán estar ubicados en los laterales de los canales viales urbanos con orientación NO-SE de fuerte incidencia solar permitirá reducir su incidencia, mejorando el confort térmico. (Yanavilca, 2021)

Tesis: “Islas de Calor Urbano: Efecto del crecimiento no planificado en Jaén, Perú”

Autor: Bach. García Vásquez Wilder; Bach. Rivera Montalván Xiomi Estefani

La ciudad de Jaén, ubicada en la región nororiental del Perú, ha experimentado en las últimas décadas un rápido crecimiento poblacional y urbano, urbanizando progresivamente zonas que antes eran rurales (INEI, 2016). Este crecimiento desordenado ha conllevado a la pérdida de áreas verdes fundamentales, lo que ha provocado un incremento significativo en la sensación térmica local, especialmente durante la última década (Velásquez, 2016 citado por García y Rivera 2020). Una de las principales consecuencias de esta expansión urbana acelerada es la formación de islas de calor urbano (ICU), fenómeno que se manifiesta como una diferencia térmica notable entre el centro urbano y sus alrededores menos urbanizados.

Estudios demuestran que las temperaturas superficiales en áreas urbanas pueden ser entre 2,34 y 7,19 °C más altas que en zonas rurales o no urbanizadas, y en algunos casos esta diferencia puede ser aún mayor. A pesar de ocupar una superficie reducida, las zonas verdes urbanas con una cobertura vegetal mayor al 48 % poseen una alta capacidad para disipar calor, por lo que resultan esenciales para mitigar el efecto de las ICU y mejorar el confort térmico urbano

Con base en esta problemática, la investigación planteó como objetivo determinar la presencia y evolución de las islas de calor urbano en Jaén entre 1995 y 2015, así como analizar el impacto del crecimiento urbano no planificado sobre el microclima local. Esta información resulta clave para orientar futuras estrategias de planificación urbana sostenible, que consideren la recuperación de áreas verdes y el diseño climático de la ciudad como elementos fundamentales para mejorar la calidad de vida de su población.

La ciudad de Jaén evidencia de manera clara la presencia del fenómeno de las Islas de Calor Urbano (ICU), debido al reemplazo de vegetación por superficies urbanas ha generado una diferencia térmica significativa entre áreas vegetadas y no vegetadas, oscilando entre 3 °C y 6 °C, y en algunos casos superando esos valores. A pesar de que el Índice de Áreas Verdes (IAV) alcanza un valor promedio de 27,48 m²/habitante, por encima del umbral mínimo de la OMS (9 m²/hab.), este valor no refleja la distribución real de las áreas verdes. Más del 86 % de la ciudad no se beneficia de estas zonas, ya que las áreas verdes se concentran en la periferia y no están bien distribuidas en sectores densamente urbanizados, lo que limita su capacidad de mitigar las ICU y mejorar la calidad ambiental urbana. (García y Rivera, 2020)

Finalmente, el estudio subraya la urgente necesidad de una planificación del bosque urbano y una redistribución eficiente de áreas verdes en Jaén. Estas medidas son clave para reducir los efectos adversos de la isla de calor urbano y promover una ciudad más resiliente, saludable y sostenible. Este trabajo representa una contribución importante al entendimiento del cambio térmico urbano en ciudades intermedias peruanas, y ofrece una base técnica para futuras intervenciones en planificación ambiental sostenible.

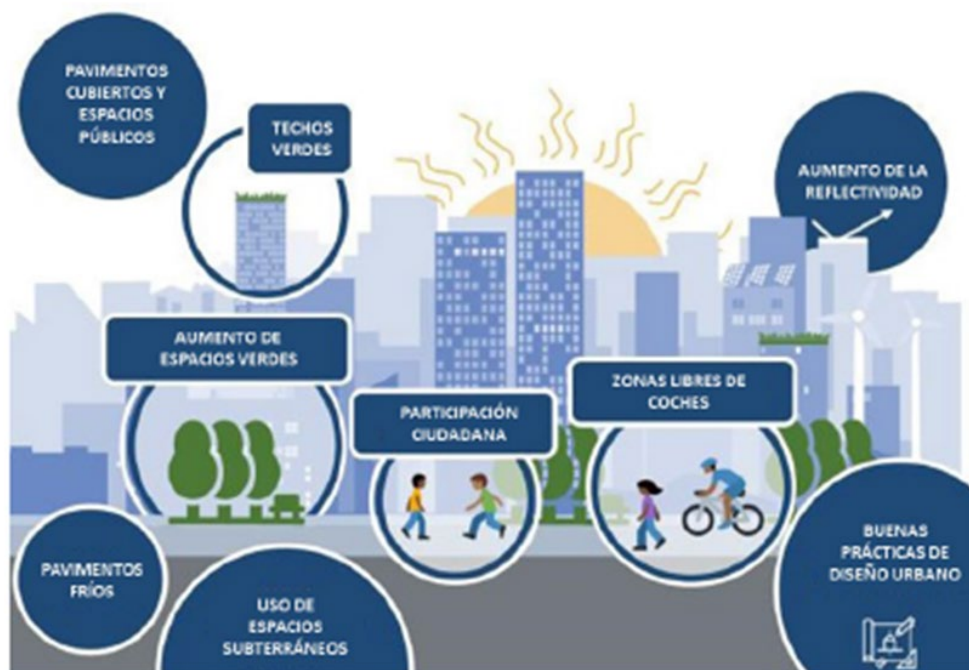
Estudio de Islas de calor urbano

Autor: Municipalidad Metropolitana de Lima.

El presente estudio tiene como objetivo principal “ofrecer una descripción detallada de la ICU en la Provincia de Lima y una evaluación exhaustiva de los efectos potenciales de la implementación de diferentes tipos de medidas de atenuación en las áreas de la ciudad más pertinentes.

El primer escenario de actuación simulado para Lima muestra cómo las medidas del Plan Local de Cambio Climático (PLCC) podrían refrescar la ciudad y reducir la ICU diagnosticada. Para demostrar su potencial contribución, se han seleccionado medidas relacionadas con el aumento de la cobertura vegetal”. (MUNILIMA, 2021)

Figura 12
Medidas de atenuación



1.- Corredores verdes urbanos vinculados a ciclovías: se propone diseñar e implementar áreas verdes a lo largo de ciclovías y áreas de gran tránsito para ciclistas y peatones para fomentar un uso sostenible de la movilidad. Esta acción plantea varias ubicaciones: en las ciclovías actuales existentes y en la futura la ampliación del Metropolitano". (MUNILIMA, 2021)

2.- Ampliación y mejoramiento de parques zonales: pretende incrementar el área verde de dos bosques ecológicos localizados en Villa El Salvador y Ancón y ampliar el parque zonal Parque de la Familia en Huaycán. (MUNILIMA, 2021)

3.- Programa Árboles para Lima: corresponde con una combinación de eventos forestales, sociales y educativos destinados a mejorar el medio ambiente mediante la plantación de dos millones de árboles para el año 2022 y cuatro millones para el año 2030. (MUNILIMA, 2021)

Arborización urbana

MUNILIMA (2019) sostiene que, con el crecimiento de las ciudades, se ha observado una creciente tendencia a eliminar la vegetación natural y reemplazarla con superficies pavimentadas en bermas centrales y laterales y edificaciones hechas en espacios recreativos que en muchos casos superan el área permitida a edificar según RNE. Como resultado, las temperaturas tanto en la superficie como en el aire

tienden a elevarse debido a este cambio en la cobertura del suelo. Para mitigar el Efecto de Isla de Calor Urbano (ICU) y ofrecer áreas de descanso del calor y protección de la exposición solar, especialmente durante los periodos de altas temperaturas, se propone incrementar la presencia de arbolado urbano.

Los árboles y la vegetación ayudan a reducir la temperatura en las ciudades principalmente a través de la sombra y la evapotranspiración. Las hojas y ramas de los árboles disminuyen la cantidad de radiación solar que llega al suelo debajo de su copa. La especie de planta influye en la cantidad de luz solar que pasa a través de la copa del árbol. Según estudios, en un entorno con árboles alrededor de todos los edificios, la temperatura puede reducirse en 1°C en comparación con un entorno completamente pavimentado. Al incorporar un amplio espacio verde rodeado de edificaciones, la temperatura ambiente puede disminuir en 5°C, y los árboles pueden reducir las temperaturas urbanas hasta en 12°C. La sombra y la evapotranspiración, que es el proceso mediante el cual el agua en el árbol se libera como vapor a través de sus hojas, son las principales causas de este enfriamiento.

Las áreas verdes son espacios destinados a la recreación pasiva social, el descanso, la relajación, la observación de la naturaleza y el contacto social donde la vegetación es la principal protagonista. Los parques urbanos y las áreas verdes contribuyen a la reducción de la temperatura de las ciudades donde se encuentran, además de enfriar el aire, aumentando la humedad relativa del aire y produciendo oxígeno. Las áreas verdes son un componente importante de las políticas de salud, conservación de la naturaleza y ordenación territorial". (MUNILIMA, 2019)

Resultados MUNILIMA (2021)

Realizado el diagnóstico se detalló las opciones actuales para reducir el impacto de la Isla de Calor Urbana. Estos incluyen más árboles y espacios verdes, techos y muros verdes/frescos, pavimentos fríos, infraestructura azul, zonas de sombra artificial, pautas para un diseño urbano inteligente).

También se ha planteado la implementación de techos frescos (solución más apropiada en término de coste-eficiencia y requerimientos hídricos) en las áreas para las que se reporta un mayor diferencia de temperatura en Lima Centro, además de simular la creación de corredores verdes urbanos asociados a las principales arterias de comunicación de la ciudad y de plantear actuaciones de revegetación en las cuencas altas de ríos Rímac, Chilón y Lurín y el Sistema de Lomas de Lima, tan relevante a la hora de prestar servicios ecosistémicos para la Provincia. Los

resultados obtenidos amplían y mejoran el grado de efectividad para atenuar el efecto de Isla de Calor Urbana, alcanzándose hasta 1,2 °C de enfriamiento con estas actuaciones.

2.2 Antecedentes conceptuales

2.2.1 Islas de calor

¿Qué se entiende por una isla de calor urbana? El término "isla de calor urbana" se refiere a las áreas urbanas que muestran un aumento en la temperatura de la superficie terrestre en comparación con las zonas suburbanas o rurales circundantes. Este incremento en la temperatura superficial se debe principalmente a los materiales como el concreto y las estructuras metálicas usados en la construcción de las ciudades, que tienden a absorber y retener una mayor cantidad de radiación solar durante el día.

El fenómeno de las Islas de Calor Urbanas (ICU) constituye actualmente uno de los principales problemas ambientales asociados al crecimiento de las ciudades y al cambio climático. Este fenómeno se produce cuando las zonas urbanas presentan temperaturas significativamente más elevadas que las áreas rurales circundantes, debido a factores como la alta densidad de edificaciones, la presencia de superficies impermeables como el asfalto y el concreto, la escasez de vegetación y la acumulación de calor en los materiales urbanos de bajo albedo. Estas condiciones modifican el balance térmico de la ciudad y favorecen la acumulación de energía térmica durante el día y su liberación progresiva durante la noche. (García y Nieves, 2024)

En el contexto de la ciudad de Moquegua, este fenómeno adquiere especial relevancia debido a las características climáticas áridas de la región, la elevada incidencia de radiación solar y el crecimiento urbano progresivo del cercado urbano. La presencia de corredores viales asfaltados, edificaciones compactas y áreas con limitada cobertura vegetal favorece la formación de microclimas urbanos con mayores temperaturas superficiales y ambientales, incrementando el riesgo de generación de islas de calor urbanas.

Las consecuencias de este fenómeno son múltiples y afectan directamente la salud y calidad de vida de la población. Según estudios recientes, el aumento de las temperaturas urbanas y las olas de calor incrementan los riesgos de enfermedades cardiovasculares, respiratorias y golpes de calor, especialmente en poblaciones

vulnerables como adultos mayores y niños. Asimismo, las altas temperaturas urbanas pueden afectar servicios esenciales como el suministro eléctrico y el transporte, además de reducir la productividad laboral y aumentar el consumo energético por el uso intensivo de sistemas de climatización. (García y Nieves, 2024)

Frente a esta problemática, resulta fundamental desarrollar herramientas que permitan medir, identificar y analizar el comportamiento térmico de la ciudad. En ese sentido, la medición de las islas de calor urbanas en Moquegua representa una necesidad científica y técnica, ya que permitirá reconocer las áreas más vulnerables a la acumulación térmica y comprender la relación entre radiación solar, morfología urbana y materiales constructivos. El uso de metodologías de análisis espacial, diagramas solares y sistemas de información geográfica (SIG) facilitará la evaluación precisa de la distribución térmica urbana y contribuirá al diseño de estrategias de mitigación y adaptación climática.

La importancia de poder medir este fenómeno radica en que la información obtenida servirá como base para futuras propuestas de planificación urbana sostenible, tales como la incorporación de áreas verdes, el uso de materiales reflectantes, la implementación de sombras urbanas y el mejoramiento bioclimático de calles y edificaciones. De esta manera, la investigación contribuirá no solo al conocimiento del comportamiento térmico urbano de Moquegua, sino también al fortalecimiento de políticas urbanas orientadas a mejorar el confort térmico, la salud pública y la resiliencia climática de la ciudad. (García y Nieves, 2024)

2.2.2 Cañón urbano

El cañón urbano constituye un elemento fundamental dentro de la morfología urbana, ya que representa el espacio conformado entre edificaciones y vías urbanas, cuya geometría influye directamente en las condiciones microclimáticas de la ciudad. Factores como la relación entre altura y ancho de la vía (h/w), la orientación solar, los materiales constructivos y la presencia de vegetación determinan el comportamiento térmico de estos espacios. Diversos estudios señalan que una configuración inadecuada de los cañones urbanos favorece la acumulación de calor, incrementando la radiación solar absorbida por calles y fachadas, lo que intensifica el fenómeno de las Islas de Calor Urbanas (ICU). (Castrejón y González, 2023)

En este contexto, la cobertura vegetal y la infraestructura verde adquieren un papel esencial como estrategias de mitigación climática dentro de los cañones

urbanos. La vegetación urbana, mediante árboles, corredores verdes, jardines y superficies permeables, contribuye a reducir la temperatura ambiental a través de procesos de sombreado y evapotranspiración. Estas funciones permiten disminuir la radiación solar directa sobre pavimentos y edificaciones, reduciendo la acumulación térmica y mejorando el confort urbano. El estudio analizado demuestra que el incremento de sombra dentro del cañón urbano reduce significativamente la temperatura y el Índice Universal de Confort Térmico (UTCI), generando espacios urbanos más frescos y habitables.

Asimismo, las investigaciones sobre ICU destacan que los cañones urbanos con orientación este-oeste presentan mayores niveles de exposición solar y temperaturas más elevadas durante gran parte del día, por lo que requieren soluciones de mitigación basadas en infraestructura verde. En este sentido, la arborización urbana se convierte en un mecanismo natural de regulación térmica, ya que las copas de los árboles generan sombra sobre la calzada y las fachadas, disminuyendo la absorción de calor por los materiales urbanos y favoreciendo microclimas más confortables. (Castrejón y González, 2023)

En la ciudad de Moquegua, esta problemática adquiere mayor relevancia debido a las condiciones climáticas áridas y la elevada radiación solar característica de la región. La limitada cobertura vegetal en gran parte del tejido urbano, sumada al predominio de superficies asfaltadas y edificaciones expuestas, favorece la formación de islas de calor urbanas y aumenta las temperaturas superficiales y ambientales en los corredores viales. Por ello, la incorporación de infraestructura verde dentro de los cañones urbanos representa una estrategia fundamental para mejorar las condiciones térmicas de la ciudad y reducir los efectos del sobrecalentamiento urbano.

De esta manera, el estudio de los cañones urbanos no solo permite comprender cómo la forma urbana influye en la generación de ICU, sino también identificar la importancia de la cobertura vegetal como elemento regulador del microclima urbano. La implementación de árboles urbanos, corredores ecológicos, techos verdes y espacios públicos vegetados contribuirá a disminuir las temperaturas urbanas, mejorar el confort térmico y fortalecer la resiliencia climática de Moquegua frente a los efectos del cambio climático.

2.2.3 Cobertura vegetal e infraestructura verde

En el diseño urbano, la cobertura vegetal y la infraestructura verde, forman parte de la fase de concepción espacial y estratégica de la ciudad, en la cual se definen los lineamientos generales que orientan la configuración del territorio, la distribución de usos del suelo, la articulación de infraestructuras y servicios, y la creación de espacios públicos significativos. Implica una mirada integral que combina análisis del contexto social, ambiental y económico con una visión prospectiva del crecimiento urbano. En esta etapa, el énfasis está puesto en imaginar, estructurar y dar coherencia a la forma y a la dinámica de la ciudad, es decir, en proyectar cómo debería organizarse el espacio para responder a las necesidades colectivas y a los retos futuros. (Cedeño y Paz, 2016)

La infraestructura verde y la cobertura vegetal se convierten en elementos estratégicos dentro del diseño y la planificación urbana sostenible. Tal como se señala en los enfoques contemporáneos del diseño urbano, la organización del espacio público debe responder no solo a criterios formales y funcionales, sino también a las condiciones climáticas locales, considerando factores como el sol, la orientación y el comportamiento térmico de la ciudad. La incorporación de árboles, corredores verdes, plazas arboladas y superficies permeables permite generar microclimas urbanos más confortables y resilientes frente al cambio climático. (Cedeño y Paz, 2016)

Asimismo, la planificación urbana contemporánea reconoce que los espacios públicos deben adaptarse a las dinámicas sociales y ambientales de cada territorio, creando entornos urbanos capaces de responder a las necesidades de la población durante distintas estaciones y horarios. En ciudades como Moquegua, donde la intensidad de la radiación solar es elevada durante gran parte del año, la cobertura vegetal no solo mejora la calidad paisajística, sino que funciona como un mecanismo natural de regulación climática urbana. Por ello, resulta fundamental medir y analizar el comportamiento de las islas de calor urbanas en relación con la distribución de infraestructura verde y cobertura vegetal dentro del cercado urbano de Moquegua. La identificación de sectores con déficit de vegetación permitirá comprender cómo la ausencia de sombra y áreas verdes influye en el incremento de temperaturas superficiales y ambientales. Esta información será clave para formular estrategias de mitigación basadas en soluciones naturales, promoviendo una planificación urbana más sostenible, resiliente y orientada al bienestar ambiental y social de la población.

Sostiene Hernández (2013) que el objetivo es diseñar espacios que satisfagan las necesidades de la comunidad. Para lograr una ciudad en la que el espacio público funcione como una red acogedora, los arquitectos urbanistas disponen de herramientas útiles. Sin embargo, con frecuencia se olvida que, además de las relaciones geométricas entre los espacios vacíos y construidos, y su adaptación a las tendencias formales del momento, todos los espacios públicos están al aire libre. En ese entorno, lo que realmente importa es el clima, el sol y el viento. No hay plaza, por muy bien diseñada que esté formalmente y por mucho que aparezca en revistas, que sea efectiva si su creador ignora la orientación solar, la utilidad en invierno o la ubicación de los bancos en verano.

2.2.4 Bases Teóricas

Entre las teorías, enfoques y propuestas de diseño urbano orientadas a reducir las islas de calor urbano (ICU), se han identificado las siguientes teorías:

- Teoría de la Isla de calor urbano ICU: postulada desde Oke (1973), explica cómo la morfología urbana (densidad, altura, materiales) modifica el balance energético de la ciudad.
- Urbanismo ecológico / urbanismo paisajístico: plantea la integración de sistemas verdes y azules (vegetación, cuerpos de agua) como infraestructura esencial para mitigar el sobrecalentamiento urbano.

Entre las propuestas y estrategias para atenuar las islas de calor urbano, se ha identificado las siguientes:

1.- Verde Urbano y Naturación: basado en el incremento de arbolado urbano a través de alineaciones arbóreas, corredores verdes y techos verdes para aumentar evapotranspiración. Parques y micro parques climáticos: espacios de sombra, especies adaptadas y diseño de suelo permeable y cubiertas y fachadas vegetales que reducen temperatura superficial y mejoran el microclima.

Figura 13
Alineaciones arbóreas



2.- Materiales y Superficies: con pavimentos fríos o reflectivos, que reducen la absorción de calor, cubiertas frías, materiales de alto albedo para reflejar radiación solar y superficies permeables: favorecen la infiltración y reducen la acumulación térmica.

Figura 14
Urbanismo verde Singapur



Para efectos de la presente investigación, vamos a tomar como referencia la estrategia de infraestructura verde de Singapur, que desde los años 1960 adoptó la visión de Ciudad jardín, que evolucionó en los 2000 hacia el concepto de “ciudad en un jardín”, y más recientemente hacia “ciudad en la naturaleza” donde el enfoque de infraestructura verde se integra a la planificación urbana como infraestructura esencial, no solo como ornamento paisajístico. Las características claves de la estrategia son: red de corredores verdes diseñados como conexiones ecológicas entre parques urbanos y zonas residenciales, parques y reservas conectadas que equilibren biodiversidad, recreación y microclima.

Respecto a la integración con el espacio urbano, plantea la implementación de jardines verticales, techos verdes y muros vegetales en edificios residenciales, comerciales e institucionales, donde los corredores verdes se entrelazan con avenidas y sistemas de transporte público. Mitigar islas de calor mediante sombra y evapotranspiración, los resultados obtenidos registran hasta 2 – 4 °C menos en zonas con corredores verdes y techos vegetales, mayor acceso a espacios de recreación y actividad física, con beneficios en salud mental y cohesión comunitaria. De la estrategia de infraestructura verde se va a aplicar los aspectos de: integración de parques, corredores verdes y jardines verticales insertando la naturaleza en la arquitectura y en los espacios de uso cotidiano, mitigar los efectos de las islas de calor urbano mediante vegetación, sombra y evapotranspiración.

Tabla 5
Síntesis comparativa

Enfoque	Estrategias clave	Objetivo principal
Material–tecnológico	Techos/pavimentos fríos, materiales reflectivos	Disminuir absorción y almacenamiento de calor
Social–espacio público	Sombras, microparques, huertos urbanos	Mejorar confort y percepción térmica de la población

Enfoques urbanos para atenuar islas de calor:

1. Enfoque ecológico–ambiental: se centra en integrar naturaleza al sistema urbano como infraestructura climática, a través de la arborización de calles, corredores verdes, techos y muros verdes.
2. Enfoque morfológico–urbano: busca modificar la forma física de la ciudad para favorecer la ventilación y reducir la acumulación térmica, a través de la orientación y

trazado de calles que permitan corredores de viento, sombras móviles (pérgolas, toldos y mobiliario urbano que mitigan la radiación solar) y micro parques climáticos (áreas pequeñas con sombra y vegetación, árboles en macetas y mobiliario sombreado).

A) Ciudades resilientes e islas de calor urbano

Según CEPAL (2018), una ciudad resiliente es aquella que tiene la capacidad de anticipar, resistir, adaptarse y recuperarse frente a perturbaciones ambientales, sociales y económicas, manteniendo sus funciones esenciales y el bienestar de la población. En el contexto del cambio climático, este enfoque adquiere especial importancia frente al incremento de las temperaturas urbanas y la formación de islas de calor urbano.

La resiliencia urbana frente a las islas de calor urbano se fundamenta en la implementación de estrategias que permitan reducir la acumulación de calor en el entorno construido y mejorar las condiciones microclimáticas. Entre estas estrategias destacan el incremento de áreas verdes, la creación y conservación de parques urbanos, la arborización de calles y la incorporación de infraestructura verde, elementos que contribuyen a generar sombra, disminuir la radiación solar directa y favorecer los procesos de evapotranspiración (CEPAL, 2018).

Asimismo, la CEPAL (2018) señala que una de las características de las ciudades resilientes es contar con una amplia cobertura vegetal, mediante parques, corredores verdes y arborización urbana, debido a su capacidad para regular el microclima y reducir los efectos adversos asociados al calentamiento urbano. Estas intervenciones permiten disminuir la temperatura superficial de los materiales urbanos y mejorar el confort térmico de la población.

Por tanto, la planificación de espacios verdes y la arborización urbana constituyen medidas fundamentales para la construcción de ciudades resilientes, ya que no solo contribuyen a mitigar las islas de calor urbano, sino que también fortalecen la adaptación de las ciudades frente a los desafíos derivados del cambio climático (CEPAL, 2018).

B) Urbanismo táctico

El urbanismo táctico surge como una respuesta innovadora y flexible a los retos de las ciudades contemporáneas. Frente a procesos de planificación rígidos,

de largo plazo y costosos, esta corriente propone intervenciones de bajo costo, rápida implementación y fuerte participación comunitaria. A través de acciones puntuales y temporales, busca transformar el espacio público y generar impactos duraderos en la calidad de vida urbana. (ONU, 2021) Componentes del urbanismo táctico, pueden entenderse como los elementos que le dan forma y sustento: temporalidad y flexibilidad, escala humana, bajo costo y materiales accesibles y carácter experimental: Funciona como un “laboratorio urbano” donde se prueban soluciones antes de escalarlas a proyectos permanentes.

Figura 15
Urbanismo táctico



Estrategias del urbanismo táctico

Figura 16
Micro plaza



El verdadero potencial del urbanismo táctico radica en proponer catalizadores de cambio, pequeñas intervenciones que pueden reconfigurar el espacio urbano. A través de la temporalidad, la participación ciudadana, la flexibilidad y la

experimentación, esta corriente se ha consolidado como una herramienta poderosa para repensar la ciudad desde lo cotidiano. Su valor reside en demostrar que, incluso con intervenciones mínimas, es posible generar impactos visibles, (ONU, 2021)

2.3 Antecedentes contextuales

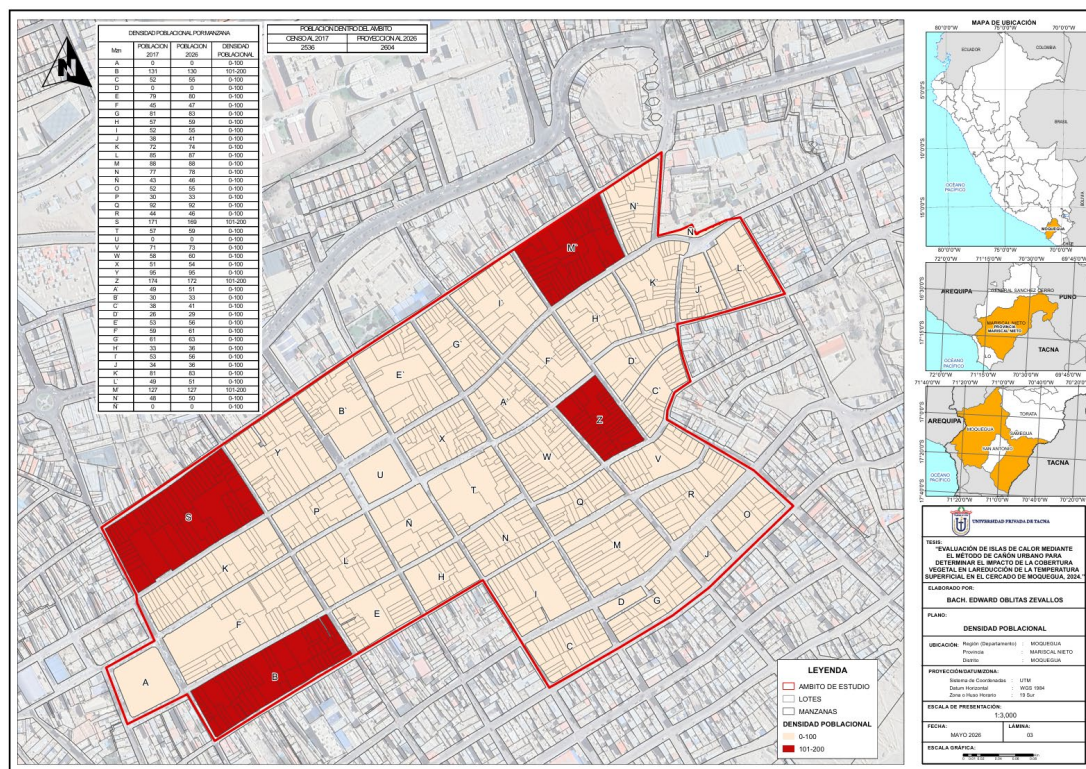
2.3.1 Aspectos socioeconómicos

1) Demografía

El crecimiento demográfico del distrito de Moquegua constituye uno de los principales factores que ha influido en la transformación física y funcional de la ciudad durante las últimas décadas. El incremento progresivo de la población ha generado procesos de expansión y densificación urbana en diferentes sectores del cercado. Este crecimiento ha provocado modificaciones significativas en el uso del suelo, incrementando las superficies construidas y reduciendo progresivamente áreas naturales y espacios con cobertura vegetal.

En este contexto, el aumento poblacional ha contribuido a intensificar problemáticas ambientales como las Islas de Calor Urbanas (ICU), debido al predominio de superficies impermeables, la concentración de edificaciones y la limitada incorporación de infraestructura verde en el desarrollo urbano. Por ello, analizar el crecimiento demográfico del distrito resulta fundamental para comprender las dinámicas territoriales y ambientales que influyen en el comportamiento térmico de la ciudad y en la calidad ambiental urbana.

Figura 17
Densidad poblacional en el área de estudio



Nota: Ver plano en anexo N°4

A nivel general, el plano evidencia que la mayor parte del ámbito presenta densidades poblacionales medias y relativamente homogéneas, predominando rangos de 0 a 100 habitantes por manzana. Sin embargo, se identifican sectores específicos con densidades más elevadas, localizados principalmente en las manzanas marcadas como “S”, “B”, “M” y “Z”, las cuales alcanzan valores entre 101 y 200 habitantes. Estas áreas de mayor concentración poblacional coinciden con zonas urbanas más consolidadas y con una ocupación intensiva del suelo, lo que sugiere una mayor presión sobre la infraestructura urbana y los espacios públicos.

Desde el enfoque ambiental y urbano, la concentración de población en determinadas manzanas puede relacionarse directamente con el incremento de superficies impermeables, la reducción de espacios libres y el déficit de cobertura vegetal. Estas condiciones favorecen la acumulación térmica y la intensificación de las Islas de Calor Urbanas (ICU), especialmente en sectores con alta densificación y limitada infraestructura verde. La escasez de áreas arboladas y espacios permeables dentro de las zonas más densas incrementa la exposición solar sobre pavimentos y edificaciones, elevando las temperaturas superficiales y reduciendo el confort térmico urbano.

El análisis espacial del plano permite reconocer que las áreas con mayor densidad poblacional podrían constituir sectores prioritarios para futuras estrategias de mitigación climática urbana. La incorporación de infraestructura verde, arborización vial, espacios públicos vegetados y corredores ecológicos en estas zonas contribuiría a mejorar las condiciones ambientales y térmicas del cercado urbano. Por ello, el mapa no solo representa una herramienta de diagnóstico demográfico, sino también un instrumento territorial clave para comprender la relación entre crecimiento urbano, densificación y vulnerabilidad frente a las Islas de Calor Urbanas en Moquegua.

2) Actividades económicas

La estructura económica evidencia un marcado predominio de actividades terciarias dentro del distrito de Moquegua, especialmente relacionadas con comercio, servicios, transporte y administración pública. Este comportamiento económico genera una mayor concentración de actividades urbanas en el cercado de la ciudad, incrementando los flujos vehiculares, la demanda de infraestructura y la ocupación intensiva del suelo urbano.

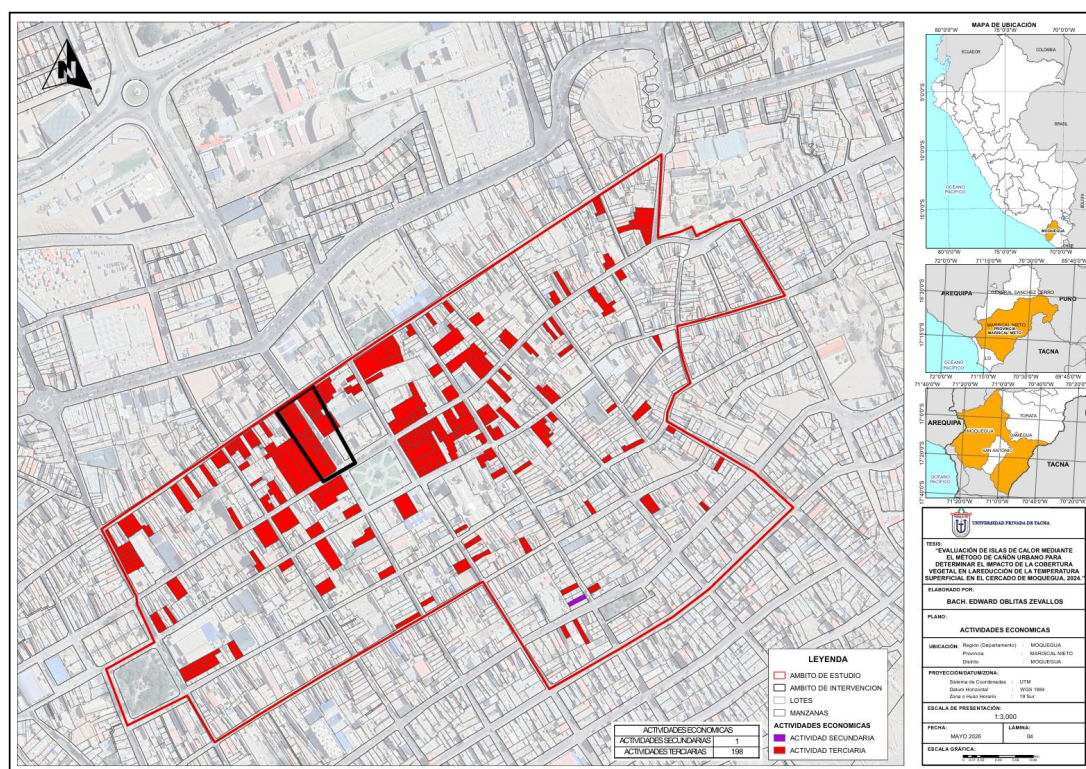
Asimismo, el crecimiento de actividades comerciales y de servicios contribuye a la expansión de superficies impermeables, edificaciones y corredores viales altamente transitados, factores que favorecen la acumulación térmica y la intensificación de las Islas de Calor Urbanas (ICU). La limitada incorporación de infraestructura verde dentro de sectores comerciales y de alta densidad funcional incrementa la exposición solar y reduce las condiciones de confort térmico urbano. Por ello, comprender la estructura económica del distrito resulta importante para analizar cómo las dinámicas productivas y urbanas influyen en la transformación territorial y en los procesos de calentamiento urbano presentes en la ciudad de Moquegua.

En la figura 18 se representa espacialmente la distribución de actividades secundarias y terciarias mediante una clasificación, permitiendo identificar la concentración y localización de los usos económicos predominantes dentro del tejido urbano. A nivel espacial, la figura evidencia un claro predominio de actividades terciarias distribuidas a lo largo de los principales corredores viales y zonas centrales del ámbito urbano. Estas actividades incluyen principalmente comercio, servicios, hospedaje, restaurantes y funciones administrativas, las cuales se concentran en sectores con mayor accesibilidad y conectividad urbana. Por otro lado, las

actividades secundarias aparecen de manera más dispersa y en menor proporción, asociadas principalmente a talleres, almacenamiento, pequeñas industrias y actividades vinculadas a la construcción o manufactura.

La concentración de actividades económicas en determinados sectores refleja un proceso de consolidación funcional y comercial del cercado de Moquegua, donde el uso intensivo del suelo urbano genera mayores niveles de ocupación, tránsito vehicular y demanda de infraestructura. Estas dinámicas urbanas favorecen la transformación progresiva de espacios residenciales en áreas de uso mixto y comercial, incrementando la densificación y la presión sobre el espacio público urbano.

Figura 18
Actividades económicas en área de estudio



Nota: Ver plano en anexo N°4.

Desde el enfoque ambiental y climático, la distribución de actividades terciarias y secundarias tiene una relación directa con la generación de Islas de Calor Urbanas (ICU). Las zonas con mayor concentración comercial y de servicios suelen presentar una mayor proporción de superficies impermeables, reducción de cobertura vegetal y elevados niveles de movilidad vehicular, factores que incrementan la acumulación térmica y la radiación absorbida por el entorno urbano.

Asimismo, la limitada presencia de infraestructura verde dentro de estos corredores funcionales reduce la capacidad de regulación térmica natural y disminuye las condiciones de confort ambiental.

La figura 18 permite identificar áreas potencialmente vulnerables al sobrecalentamiento urbano, especialmente en sectores con alta concentración de actividades económicas y escasa arborización. Por ello, el análisis territorial de las actividades económicas constituye una herramienta importante para comprender cómo la dinámica funcional de la ciudad influye en el comportamiento térmico urbano. En este sentido, la incorporación de infraestructura verde, arborización vial y estrategias de diseño bioclimático en zonas comerciales y de servicios resulta fundamental para mitigar los efectos de las ICU y mejorar la sostenibilidad ambiental del cercado urbano de Moquegua.

2.3.2 Aspecto socio territorial

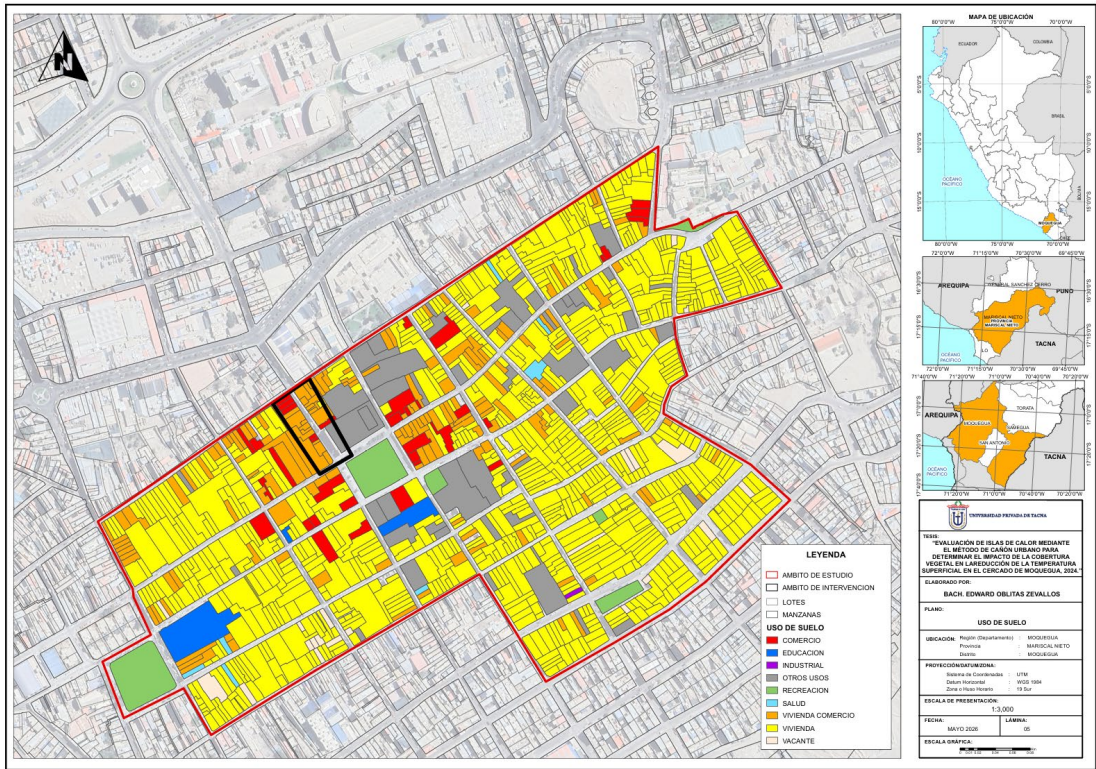
El aspecto socio territorial permite comprender la relación entre la dinámica social de la población y la configuración física del territorio urbano. En el caso del cercado de Moquegua, el crecimiento poblacional, la expansión de actividades económicas y la transformación del uso del suelo han generado cambios significativos en la estructura urbana y en las condiciones ambientales de la ciudad. Asimismo, las dinámicas socio territoriales influyen en la distribución desigual de cobertura vegetal dentro de la ciudad, generando sectores con mayor vulnerabilidad frente a fenómenos como las Islas de Calor Urbanas (ICU). La concentración de actividades incrementa la presión sobre el espacio urbano y modifica las condiciones microclimáticas, evidenciando la necesidad de incorporar criterios de sostenibilidad e infraestructura verde en la planificación territorial.

1) Usos de suelo

La figura 19 identifica la distribución espacial de los distintos usos urbanos mediante una clasificación que permite reconocer las funciones predominantes dentro del tejido urbano. Entre las categorías representadas se encuentran: suelo predominantemente residencial, comercial, equipamientos, recreación, suelo vacante e industrial. A nivel general, se evidencia un claro predominio del uso residencial, el cual ocupa la mayor parte del ámbito de intervención. Este uso se distribuye de manera homogénea en casi todas las manzanas, configurando un tejido urbano consolidado y de ocupación continua. En segundo lugar, se identifican

sectores comerciales, principalmente concentrados a lo largo de las vías principales y corredores urbanos de mayor accesibilidad. Asimismo, los equipamientos urbanos, representados, se ubican estratégicamente en sectores centrales y corresponden a áreas institucionales, educativas o de servicios. Las áreas recreativas en color verde son reducidas y aparecen de forma puntual, mientras que el suelo industrial y vacante tiene una presencia mínima dentro del ámbito estudiado.

Figura 19
Usos de suelo



Nota: Ver plano en anexo N°4

De manera aproximada, la distribución porcentual del uso de suelo dentro del área analizada puede estimarse de la siguiente forma:

Tabla 6
Usos de suelo

Uso de suelo	Porcentaje aproximado
Suelo predominantemente residencial	70% – 75%
Suelo predominantemente comercial	12% – 15%
Suelo dedicado a equipamientos	8% – 10%
Recreación	2% – 3%

Uso de suelo	Porcentaje aproximado
Suelo vacante	1% – 2%
Suelo industrial	Menor al 1%

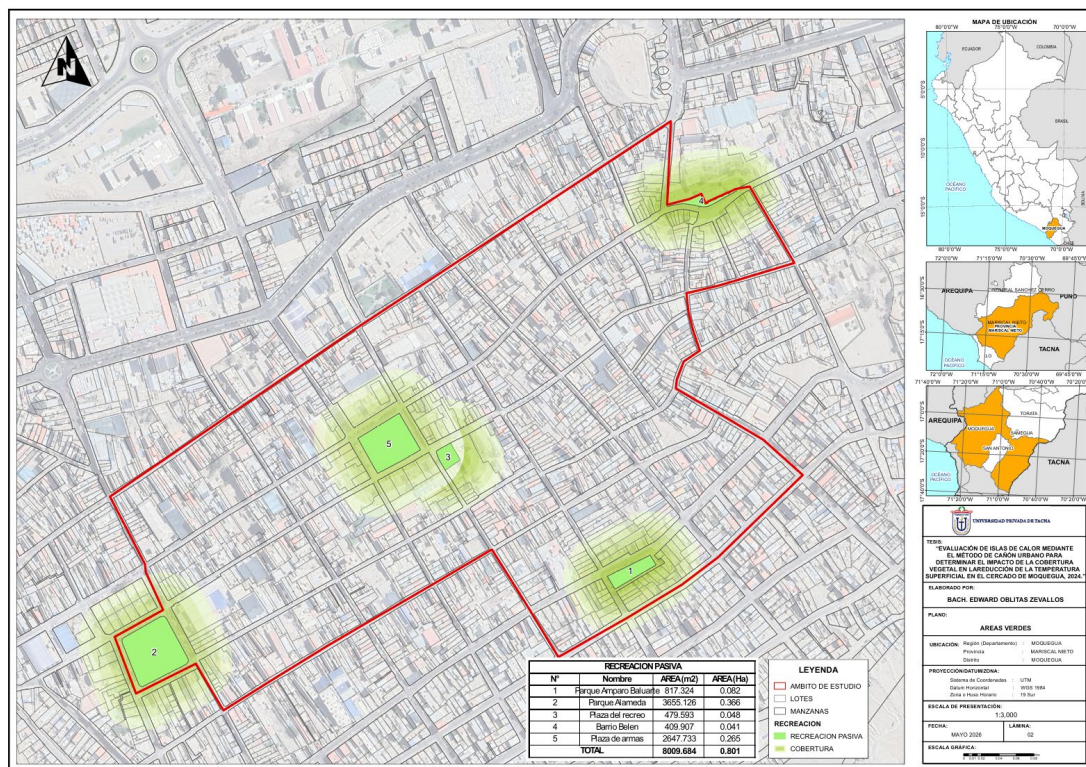
El predominio del uso residencial evidencia que el cercado urbano mantiene una función habitacional consolidada; sin embargo, la creciente presencia de actividades comerciales sobre corredores principales refleja procesos de transformación funcional y mixtificación del suelo urbano. Esta dinámica incrementa la concentración de actividades económicas, tránsito vehicular y presión sobre el espacio público, especialmente en sectores comerciales de alta ocupación. Desde el enfoque ambiental y climático, la configuración del uso de suelo tiene una relación directa con la generación de Islas de Calor Urbanas (ICU). Las zonas comerciales y de equipamiento presentan mayores niveles de impermeabilización del suelo, menor presencia de cobertura vegetal y alta exposición solar, factores que favorecen la acumulación térmica y el incremento de temperaturas superficiales. Asimismo, aunque el uso residencial predomina ampliamente, se observa una limitada presencia de áreas recreativas y espacios verdes, lo que evidencia un déficit de infraestructura verde dentro del ámbito urbano.

La escasa proporción de áreas destinadas a recreación y espacios vegetados limita la capacidad de regulación térmica natural de la ciudad, reduciendo procesos de sombra y evapotranspiración que contribuyen al enfriamiento urbano. En este sentido, el mapa evidencia la necesidad de incorporar estrategias de planificación urbana sostenible orientadas a incrementar la cobertura vegetal, fortalecer la infraestructura verde y mejorar las condiciones de confort térmico en el cercado de Moquegua, especialmente en sectores con mayor concentración comercial y densificación urbana.

2) Zonas de recreación pública.

En el contexto del cercado de Moquegua, la descripción y análisis de los parques urbanos permite identificar la distribución, dimensión y estado de las áreas verdes existentes, así como su relación con el confort térmico y la mitigación de las Islas de Calor Urbanas (ICU). La disponibilidad y calidad de estos espacios influye directamente en la capacidad de la ciudad para reducir temperaturas superficiales, mejorar el paisaje urbano y fortalecer la resiliencia ambiental frente a los efectos del cambio climático.

Figura 20
Zonas de recreación pública



Nota: Ver plano en anexo N°4

La figura 20 identifica espacialmente los principales espacios recreativos y áreas verdes existentes, representados mediante polígonos verdes y áreas de influencia que evidencian la cobertura vegetal disponible dentro del sector urbano analizado. Asimismo, el plano permite reconocer la distribución territorial de estos espacios en relación con el tejido urbano consolidado y las áreas residenciales circundantes. La infraestructura verde dentro del ámbito de estudio es limitada y se concentra en pocos puntos específicos del cercado urbano. Se identifican cinco áreas principales de recreación pasiva distribuidas de manera dispersa, las cuales cumplen funciones recreativas, paisajísticas y ambientales dentro de la ciudad. Según la tabla presentada en el plano, la superficie total destinada a recreación pasiva alcanza aproximadamente 8,009.684 m², equivalentes a 0.801 hectáreas.

Tabla 7
Recreación pasiva

RECREACION PASIVA		
ITEM	NOMBRE	AREA (Ha)
1	Parque Amparo Baluarte	0.082

RECREACION PASIVA		
2	Parque Alameda	0.366
3	Plaza del recreo	0.048
4	Barrio Belén	0.041
5	Plaza de armas	0.265

Según el cuadro, los espacios de recreación pasiva identificados corresponden a cinco áreas verdes urbanas. Entre ellas, destaca principalmente el Parque Alameda (Ítem N.º 2), con una superficie de 0.366 ha (3,660 m²), constituyéndose como el espacio recreativo de mayor extensión dentro del área de estudio. Le sigue la Plaza de Armas (Ítem N.º 5), con una superficie de 0.265 ha (2,650 m²). Por otro lado, el Parque Amparo Baluarte (0.082 ha), la Plaza del Recreo (0.048 ha) y el sector Barrio Belén (0.041 ha) presentan dimensiones considerablemente menores, configurándose como espacios verdes de alcance local y cobertura limitada.

En conjunto, las áreas de recreación pasiva suman aproximadamente 0.802 ha (8,020 m²), evidenciando una reducida disponibilidad de espacios verdes en relación con la superficie urbana del ámbito de estudio. Asimismo, se observa una distribución dispersa y poco articulada de estas áreas, lo que limita la conformación de una red continua de cobertura vegetal capaz de contribuir significativamente a la regulación térmica urbana. Esta situación favorece la presencia de sectores con escasa sombra y limitada arborización, especialmente en zonas con predominio de superficies impermeables, incrementando la susceptibilidad a la formación de islas de calor urbano.

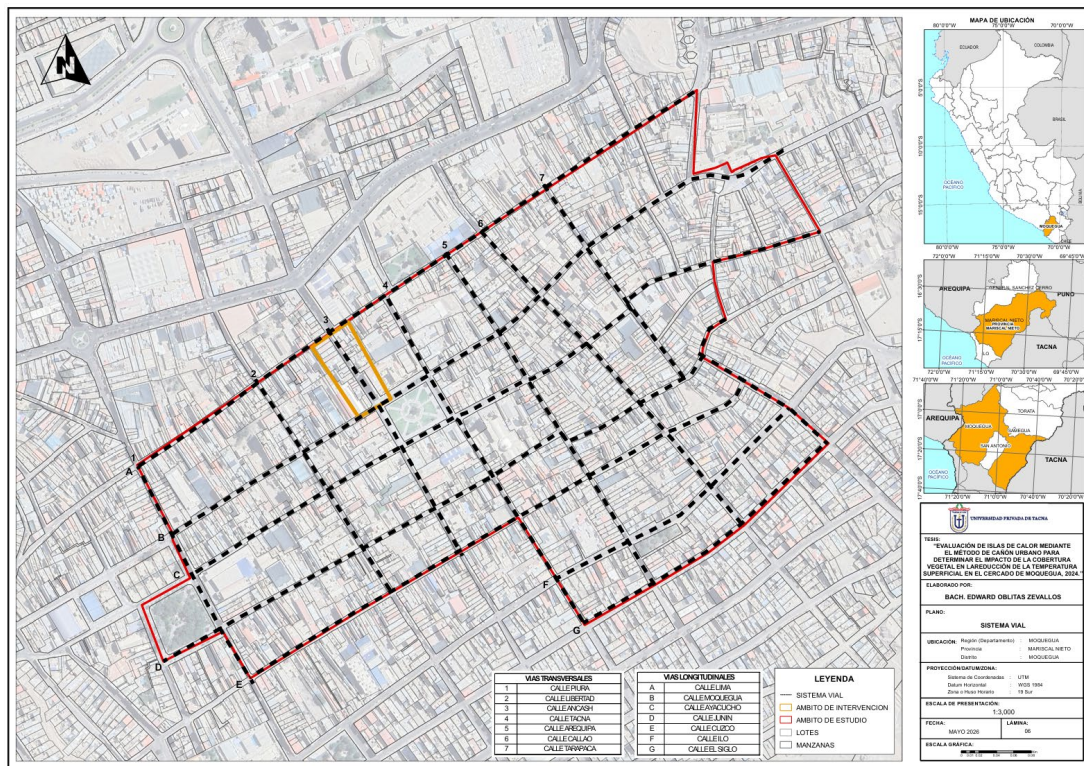
Desde el enfoque ambiental y climático, este escenario tiene una relación directa con la intensificación de las Islas de Calor Urbanas (ICU) en el cercado de Moquegua. La escasa presencia de infraestructura verde reduce la capacidad de enfriamiento natural de la ciudad, limitando procesos fundamentales como la evapotranspiración, la generación de sombra y la disminución de temperaturas superficiales. Asimismo, la fragmentación de las áreas verdes disminuye la conectividad ecológica urbana y restringe la creación de corredores ambientales capaces de mejorar las condiciones microclimáticas.

Con una población proyectada de 2,604 habitantes y una superficie total de áreas verdes de 8,020 m², la disponibilidad de área verde en el ámbito de estudio es de aproximadamente 3.08 m² por habitante. Este valor se encuentra por debajo del estándar mínimo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), de 9 m² por habitante, evidenciando un déficit de 5.92 m² por habitante. Esta situación refleja la necesidad de fortalecer la infraestructura verde urbana mediante la incorporación de nuevos espacios públicos vegetados, la arborización vial y la implementación de estrategias que incrementen la cobertura vegetal. La ampliación y adecuada distribución de áreas verdes contribuiría a mejorar el confort térmico, reducir la acumulación de calor en las superficies urbanas y mitigar los efectos de las islas de calor urbano, fortaleciendo al mismo tiempo la sostenibilidad ambiental y la calidad de vida de la población del Cercado de Moquegua.

3) Sistema vial

Dentro de la zona céntrica predominan calles de sección reducida y alta ocupación urbana, generando corredores viales con elevada exposición solar y limitada presencia de áreas verdes. Muchas de estas vías presentan una configuración de “cañón urbano”, debido a la relación entre el ancho de la calle y la altura de las edificaciones, lo que influye directamente en las condiciones microclimáticas y en la acumulación térmica. Asimismo, las principales avenidas concentran actividades comerciales y administrativas, incrementando el flujo vehicular y peatonal durante gran parte del día.

Figura 21
Sistema vial



Nota: Ver plano en anexo N°4

El sistema vial también se caracteriza por el predominio de superficies impermeables como asfalto y concreto, materiales que poseen alta capacidad de absorción y almacenamiento de calor. Esta condición, sumada a la escasa arborización urbana y limitada infraestructura verde en las vías principales, favorece la formación de Islas de Calor Urbanas (ICU), especialmente en sectores de mayor densificación y actividad económica. La ausencia de sombra sobre calzadas y veredas incrementa la radiación solar directa y reduce las condiciones de confort térmico para peatones y usuarios del espacio público.

Desde el enfoque territorial y ambiental, el sistema vial del cercado de Moquegua evidencia la necesidad de incorporar criterios de movilidad sostenible y diseño bioclimático urbano. La implementación de arborización vial, corredores verdes, superficies permeables y espacios públicos sombreados permitiría mejorar las condiciones ambientales y térmicas del centro urbano, contribuyendo a la mitigación de las ICU y al fortalecimiento de la calidad urbana de la ciudad.

2.3.3 Aspecto socio político

En el plano normativo, el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) establece lineamientos para el diseño urbano y la dotación de espacios públicos, mientras que la Ley de Desarrollo Urbano Sostenible (Ley N.° 31313) y la Ley Marco sobre Cambio Climático (Ley N.° 30754) promueven la incorporación de criterios de sostenibilidad y resiliencia en la planificación urbana. No obstante, su aplicación en ciudades intermedias como Moquegua ha sido limitada, lo que deja un vacío entre la norma y la práctica cotidiana.

Además, el contexto global del cambio climático intensifica el problema. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) advierte que las ciudades en zonas áridas están particularmente expuestas a olas de calor y a la degradación de la calidad del aire. En Moquegua, esta vulnerabilidad se expresa en el aumento de la sensación térmica en el centro histórico y en la creciente demanda de energía para refrigeración en viviendas, comercios y oficinas. Todo ello repercute en la salud de la población, la economía familiar y la habitabilidad del espacio urbano.

En síntesis, los antecedentes contextuales muestran que el cercado de Moquegua enfrenta una combinación de factores críticos: un entorno climático árido, un proceso de urbanización que ha reducido la presencia de áreas verdes, la limitada aplicación de políticas de sostenibilidad y una creciente vulnerabilidad frente al cambio climático. Estas condiciones convierten la atenuación de las islas de calor urbano en una necesidad urgente para mejorar la calidad de vida de los habitantes y promover un modelo de desarrollo urbano más resiliente y sostenible.

2.4 Antecedentes normativos

En el Perú no existe una norma específica que regule directamente la medición y control de las islas de calor urbano; sin embargo, el modelo de infraestructura verde se sustenta jurídicamente en un marco normativo ambiental, climático y urbano que permite justificar su aplicación como estrategia de adaptación climática y desarrollo urbano sostenible.

La **Ley N.° 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático**, establece en su **artículo 1** que tiene por objeto asegurar el cumplimiento de las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático, mientras que el **artículo 4** dispone que dichas medidas deben incorporarse en las políticas, planes, programas y proyectos desarrollados por las entidades públicas. En este marco, la propuesta de incremento

de cobertura vegetal mediante arborización urbana y vegetación vertical constituye una medida de adaptación climática orientada a reducir la acumulación de calor en el espacio urbano y disminuir la vulnerabilidad de la población frente al incremento de temperaturas.

Asimismo, el **Decreto Supremo N.º 013-2019-MINAM**, que aprueba el Reglamento de la Ley Marco sobre Cambio Climático, establece en el **artículo 61** que las medidas de adaptación tienen como finalidad incrementar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático. Del mismo modo, dentro de los enfoques de adaptación promovidos por el reglamento se consideran las soluciones basadas en ecosistemas y la conservación de los servicios ecosistémicos. En concordancia con ello, la propuesta plantea la incorporación de árboles y vegetación vertical como elementos de infraestructura verde que contribuyen a la regulación térmica del espacio urbano y al fortalecimiento de la resiliencia frente a las islas de calor urbano.

Por otro lado, la **Ley N.º 31313, Ley de Desarrollo Urbano Sostenible**, señala en su **artículo 2** que tiene como finalidad promover el desarrollo urbano sostenible, garantizando ciudades seguras, resilientes, inclusivas y ambientalmente equilibradas. Asimismo, en sus principios promueve la sostenibilidad ambiental y la mejora de la calidad de vida de la población. Bajo este enfoque, la intervención propuesta contribuye al acondicionamiento de un tramo urbano mediante la implementación de áreas vegetadas, arborización y mobiliario urbano, favoreciendo espacios públicos más habitables y ambientalmente sostenibles.

De igual manera, el **Decreto Supremo N.º 012-2022-VIVIENDA**, Reglamento de la Ley de Desarrollo Urbano Sostenible, establece en el **artículo 3** que la planificación urbana debe orientarse hacia la sostenibilidad ambiental, la resiliencia urbana y la mejora de la calidad de vida. Asimismo, reconoce a los espacios públicos y áreas verdes como componentes fundamentales de la estructura urbana. En ese sentido, la propuesta fortalece la infraestructura verde urbana mediante la incorporación de cobertura vegetal y espacios de estancia sombreados, contribuyendo a la reducción de la temperatura superficial y al mejoramiento de las condiciones ambientales del entorno.

Finalmente, el **Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)**, a través de los criterios aplicables al diseño urbano y habilitaciones urbanas contenidos principalmente en la **Norma TH.020 Habilitaciones para Uso Residencial** y la **Norma GH.020 Componentes de Diseño Urbano**, promueve la incorporación de

áreas verdes, espacios públicos y elementos que contribuyan a la calidad ambiental y funcionalidad de la ciudad. En concordancia con estos lineamientos, la propuesta incorpora arborización urbana, superficies permeables y vegetación vertical para mejorar el confort térmico y contribuir a la mitigación de las islas de calor urbano.

En conjunto, estas disposiciones normativas respaldan la implementación de estrategias de infraestructura verde orientadas a incrementar la resiliencia urbana, mejorar la habitabilidad de los espacios públicos y reducir los efectos asociados a las islas de calor urbano en el Cercado de Moquegua.

Vinculación del modelo con la normativa peruana

Tabla 8
Normatividad

Modelo de infraestructura verde	Norma peruana vinculada	Justificación
Arborización urbana	Ley 30754 Art. 1 y Art. 4	Medida de adaptación al cambio climático
Vegetación vertical	DS 013-2019-MINAM	Incremento de resiliencia urbana mediante infraestructura verde
Reducción de temperatura superficial	Ley 30754 + DS 013-2019-MINAM	Adaptación frente al calentamiento urbano
Mobiliario urbano sombreado	Ley 31313 Art. 2	Mejora de habitabilidad y calidad de vida
Recuperación del espacio público	DS 012-2022-VIVIENDA	Fortalecimiento de espacios públicos y áreas verdes
Incremento de cobertura vegetal	Ley 31313 + DS 012-2022-VIVIENDA	Desarrollo urbano sostenible y protección ambiental

Si bien la normativa peruana no contempla disposiciones específicas para la medición, monitoreo o control de las islas de calor urbano, estas normas promueven la adaptación al cambio climático, el fortalecimiento de la resiliencia urbana, la sostenibilidad ambiental, la consolidación de infraestructura verde y la mejora de los espacios públicos. En este contexto, la incorporación de estrategias como la arborización urbana, la vegetación vertical, el incremento de la cobertura vegetal y el uso de superficies permeables constituye una medida técnicamente sustentada para reducir la temperatura superficial y mejorar las condiciones microclimáticas urbanas. Por ello, la aplicación de indicadores como cobertura vegetal, temperatura superficial, permeabilidad del suelo, generación de sombra y confort térmico resulta pertinente para evaluar el impacto de las intervenciones propuestas antes y después de su implementación.

Capítulo III Metodología

3.1 Hipótesis de la investigación

3.1.1 Hipótesis general

La evaluación de las islas de calor urbano mediante el método de cañón urbano permitirá demostrar que la cobertura vegetal contribuye significativamente a la reducción de la temperatura superficial en el Cercado de Moquegua durante el año 2024.

3.1.2 Hipótesis específicas

HE 1: Las zonas del Cercado de Moquegua que presentan mayor predominio de superficies impermeables evidencian una mayor presencia de islas de calor urbano, identificables mediante el método de cañón urbano durante el año 2024.

H2 2: La radiación solar incidente sobre las superficies urbanas expuestas influye significativamente en el comportamiento térmico del corredor vial seleccionado en el Cercado de Moquegua durante el año 2024.

H 3: La presencia de cobertura vegetal reduce la intensidad de las islas de calor urbano al disminuir la radiación solar directa y mejorar las condiciones micro climáticas en el Cercado de Moquegua durante el año 2024.

3.2 Variables

A partir del objetivo general planteado, la variable independiente estaría asociada a la presencia y características de la cobertura vegetal e infraestructura verde; la variable dependiente correspondería a la temperatura superficial urbana vinculada al fenómeno de isla de calor; mientras que la variable interviniente estaría relacionada con las condiciones morfológicas y espaciales del cañón urbano, ya que estas modifican la incidencia solar, ventilación y acumulación térmica.

3.2.1 Variable independiente:

La variable independiente, correspondiente a la cobertura vegetal e infraestructura verde (jardines verticales), puede operacionalizarse mediante indicadores orientados a medir la cantidad y distribución. Entre los principales indicadores se encuentran el porcentaje de cobertura vegetal por manzana o sector urbano, la longitud de corredores verdes y el porcentaje de superficies permeables.

Variable independiente: Cobertura vegetal.

Indicadores: Porcentaje (%) cobertura vegetal en secciones viales (calle)

Porcentaje (%) de superficies permeables

Porcentaje (%) cobertura vegetal en jardines verticales

Tabla 9
Síntesis General de indicadores

Dimensión	Propósito de resiliencia	Ejemplo de indicador clave	Meta esperada
Ambiental	Mitigar el calor y restaurar ecosistemas	Cobertura vegetal urbana (%)	+40% del área urbana verde en calzada y 25% en fachadas
Urbana	Optimizar morfología y ventilación	Relación H/W adecuada	Reducción del efecto cañón urbano

3.2.2 Variable dependiente

La variable dependiente, vinculada a la temperatura superficial urbana y al fenómeno de isla de calor, requiere indicadores térmicos que permitan identificar variaciones microclimáticas dentro del Cercado de Moquegua. Entre ellos destacan la temperatura superficial promedio, temperatura máxima y mínima registrada en distintos puntos urbanos, intensidad de isla de calor urbana, diferencias térmicas entre áreas verdes y áreas construidas, porcentaje de superficies con alta acumulación térmica y distribución espacial de puntos críticos de calor.

Variable dependiente: Temperatura superficial.

Indicador: Diferencial de temperatura en grados centígrados.

Tabla 10
Relación H/W

Relación H/W	Condición urbana	Efecto térmico y ambiental
< 0.5	Espacio muy abierto	Alta exposición solar, poca sombra, mayor radiación directa.
≈ 1.0	Equilibrio entre altura y ancho	Buena ventilación, sombra moderada, confort térmico óptimo.
> 2.0	Cañón urbano profundo	Menor ventilación, acumulación de calor, efecto "isla de calor".

Tabla 11
Operacionalización de variables 1

Tipo de variable	Variable	Definición conceptual
Independiente	Cobertura vegetal e infraestructura verde	Conjunto de elementos naturales y urbanos vegetados que contribuyen a regular las condiciones microclimáticas urbanas.
Dependiente	Temperatura superficial urbana	Nivel de temperatura registrado en las superficies urbanas asociado al fenómeno de isla de calor urbano.

Tabla 12
Operacionalización de variables 2

Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Se evaluará la presencia y distribución de vegetación e infraestructura verde en el Cercado de Moquegua	Cobertura vegetal	Porcentaje de cobertura vegetal horizontal y superficie permeable
	Infraestructura verde	Porcentaje de jardines verticales
Se medirá la temperatura superficial en distintos sectores urbanos mediante instrumento elaborado	Intensidad térmica	Temperatura superficial promedio, temperatura máxima y mínima
Se analizará la geometría urbana mediante el método de cañón urbano considerando relación altura-ancho, orientación vial y densidad edificatoria.	Geometría urbana	Relación H/W (altura/ancho), orientación de calles

3.3 Tipo de investigación

Cuantitativa

La investigación cuantitativa es una tipología que se basa en la observación, estudio y análisis de situaciones reales utilizando diversos métodos fundamentados en cálculos y mediciones, aborda todo hecho que puede ser observado y medido. Esta característica ofrece un mayor nivel de control e inferencia en comparación con otros tipos de investigación, lo que facilita la realización de experimentos que permiten obtener o derivar explicaciones que pueden ser verificadas a partir de las

hipótesis formuladas. Los resultados de estas investigaciones deben ser validados mediante métodos estadísticos que permitan realizar generalizaciones.

3.4 Nivel de Investigación

Descriptivo

Este nivel de investigación se centra en la descripción de fenómenos urbanos y ambientales dentro de un contexto temporal de carácter transversal y geográfico específico. Su objetivo es describir y/o establecer parámetros bien definidos que nos permitan entender a plenitud determinada situación o contexto. Se analizan frecuencias y/o promedios para definir parámetros.

Aplicativo

El nivel aplicativo se centra en la búsqueda de elementos que permitan resolver determinadas situaciones, problemas o influir en la dinámica natural de los eventos estudiados. Considera tanto la innovación técnica como la científica. La metodología se enfoca en evaluar los logros en términos de “proceso, resultados e impacto”. Para ello, es fundamental identificar los indicadores más adecuados.

3.6 Procedimientos, técnicas e instrumentos

3.6.1 Método

El estudio adopta un enfoque cuantitativo–analítico orientado a la caracterización micro climática del espacio urbano a través de la aplicación del método del cañón urbano (*urban canyon method*), con el propósito de diagnosticar la presencia y magnitud de islas de calor urbano (ICU) en áreas consolidadas y en proceso de densificación. Este método permite evaluar las relaciones geométricas, radiativas y térmicas entre las edificaciones y el espacio público, considerando el cañón como una unidad morfológica representativa del clima urbano local.

3.6.2 Procedimiento

El procedimiento metodológico comprende tres etapas principales: (1) selección y clasificación de cañones urbanos, (2) levantamiento de datos microclimáticos y morfométricos, y (3) análisis de comportamiento térmico.

1. Selección y clasificación de cañones urbanos

Se identifican y delimitan los segmentos viales representativos del tejido urbano mediante análisis cartográfico y verificación in situ. Cada cañón se define como el espacio comprendido entre dos fachadas opuestas y el plano horizontal del suelo, con una longitud suficiente para mantener condiciones de homogeneidad térmica. Los cañones se clasifican según su relación geométrica H/W , donde:

H representa la altura media de las edificaciones laterales

W el ancho efectivo de la calle.

Esta relación permite diferenciar cañones profundos ($H/W > 1$), intermedios ($0.5 < H/W < 1$) y abiertos ($H/W < 0.5$), lo que condiciona su comportamiento térmico y su capacidad de ventilación. En casos donde las alturas laterales difieren, la altura media del cañón (H_m) se obtiene mediante la expresión:

$$H_m = (H_1 + H_2) / 2$$

donde H_1 y H_2 corresponden a las alturas de las fachadas enfrentadas.

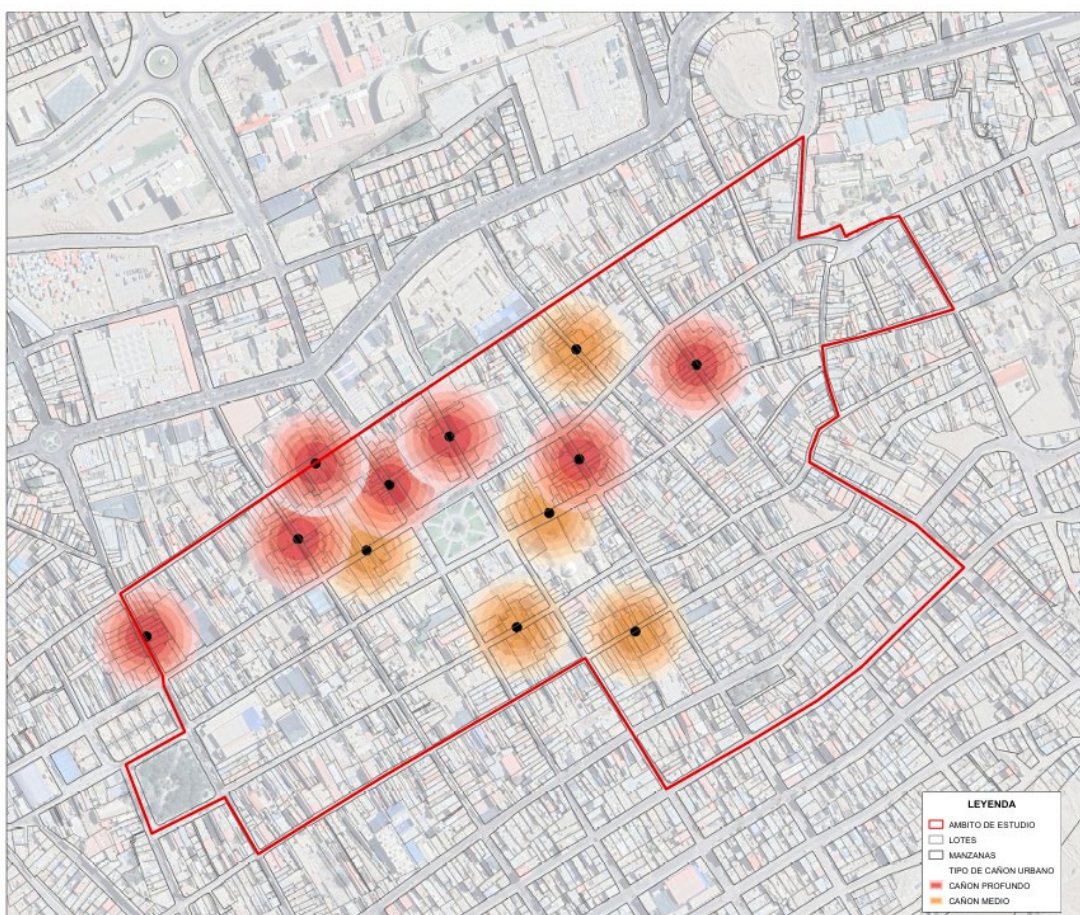
3.7 Esquema metodológico



Capítulo IV Propuesta

Frente a la problemática identificada, la cobertura vegetal constituye una estrategia urbana sostenible capaz de contribuir a la regulación microclimática y a la mitigación de las islas de calor urbano (ICU). La presencia de vegetación y superficies permeables favorece los procesos de evapotranspiración, incrementa las áreas de sombra y reduce la cantidad de radiación absorbida por los materiales urbanos, disminuyendo así la acumulación de calor en el espacio público.

Figura 22
Islas de calor identificadas

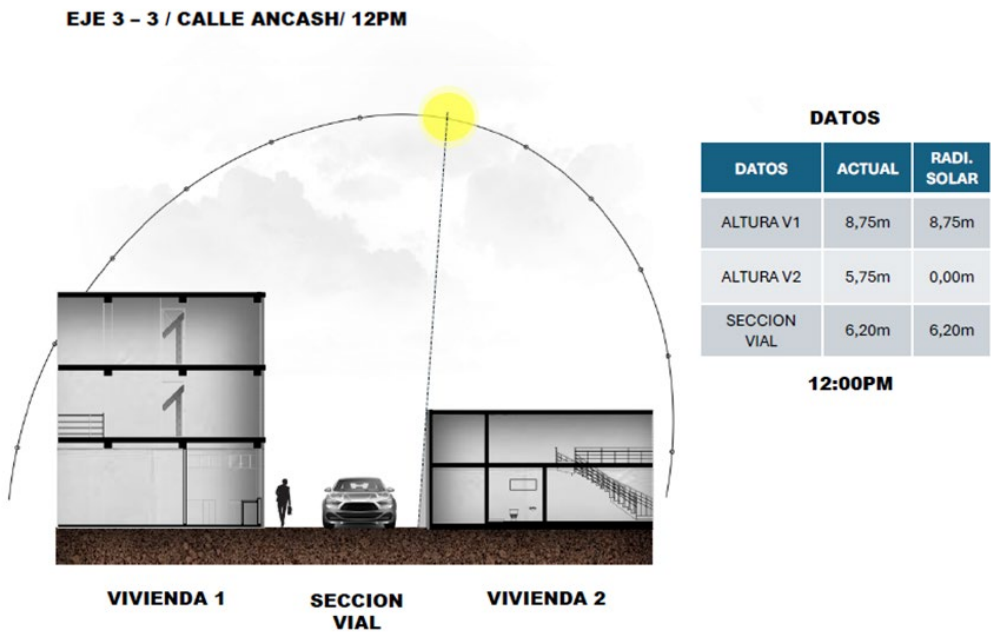


Nota: Ver plano en anexo N°4

Para evaluar el comportamiento térmico del Cercado de Moquegua, se realizó un análisis de islas de calor urbano mediante el método de cañón urbano en doce (12) tramos representativos del área de estudio. Este análisis permitió identificar las condiciones de morfología urbana, incidencia solar,

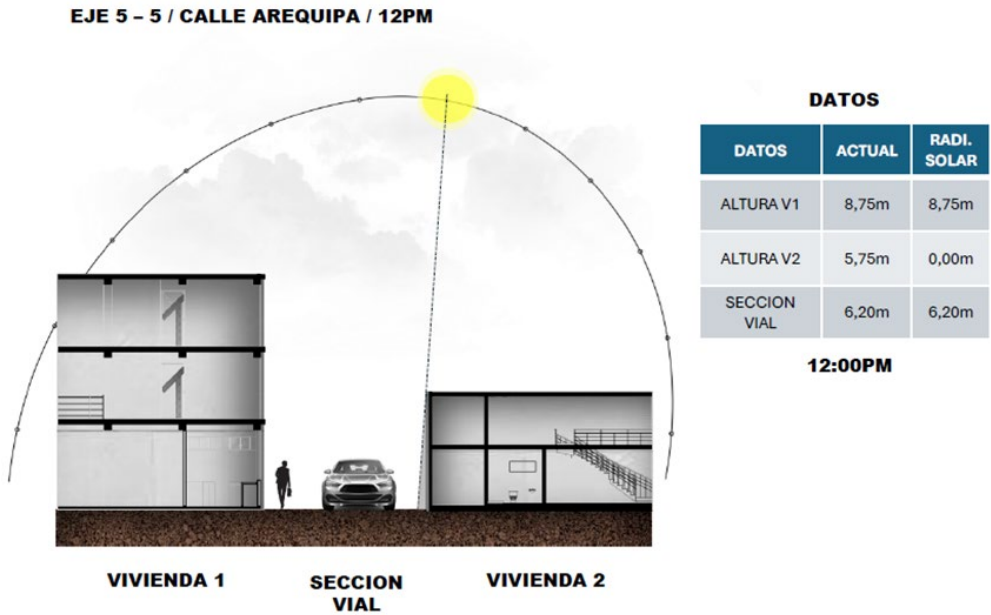
cobertura vegetal existente y comportamiento térmico de cada tramo, determinando aquellos sectores con mayor susceptibilidad a la acumulación de calor.

Figura 23
Cañón urbano calle Ancash



$$Hw= 7.25 + 6.20 / 2 = 1.17$$

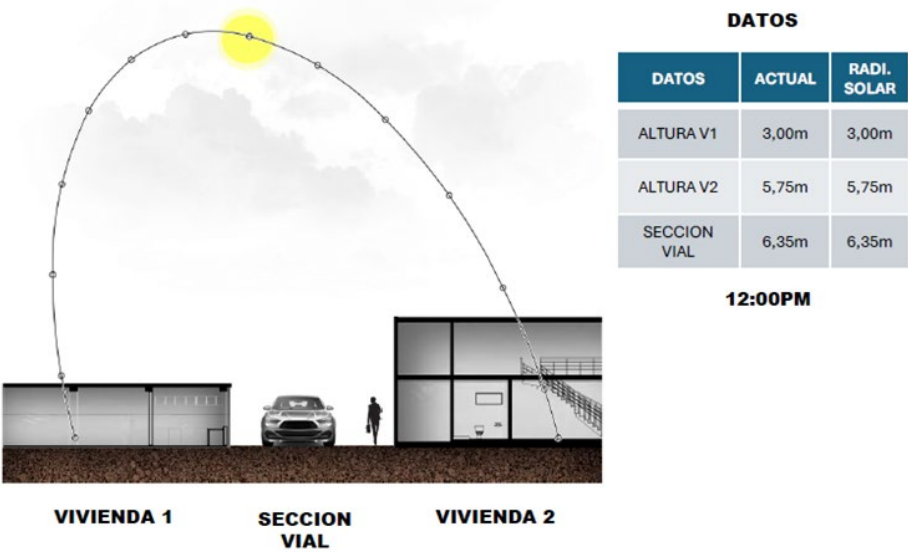
Figura 24
Cañón urbano calle Arequipa



$$Hw= 7.25 + 6.20 / 2 = 1.17$$

Figura 25
Cañón urbano calle Ayacucho

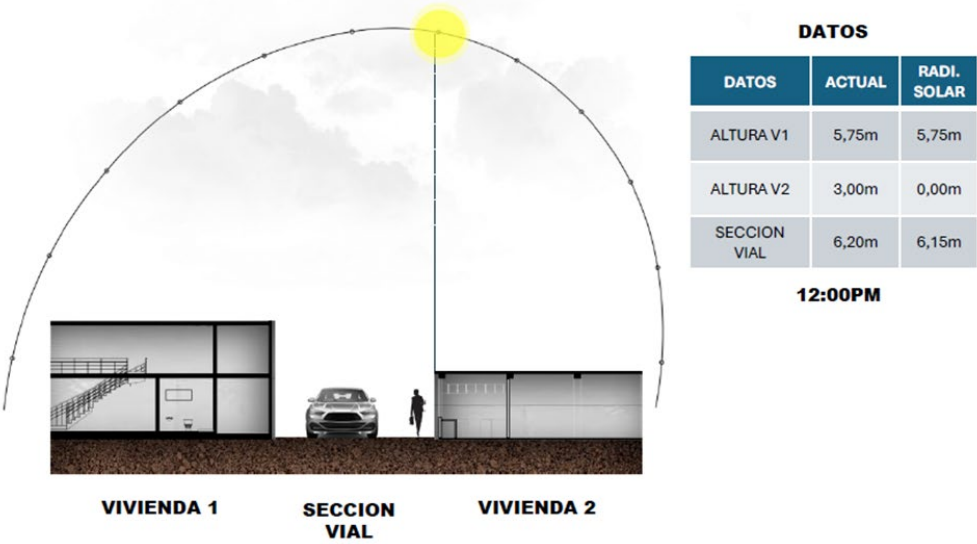
EJE C - C / CALLE AYACUCHO / 12PM



$$Hw= 4.37 + 6.35 / 2 = 0.69$$

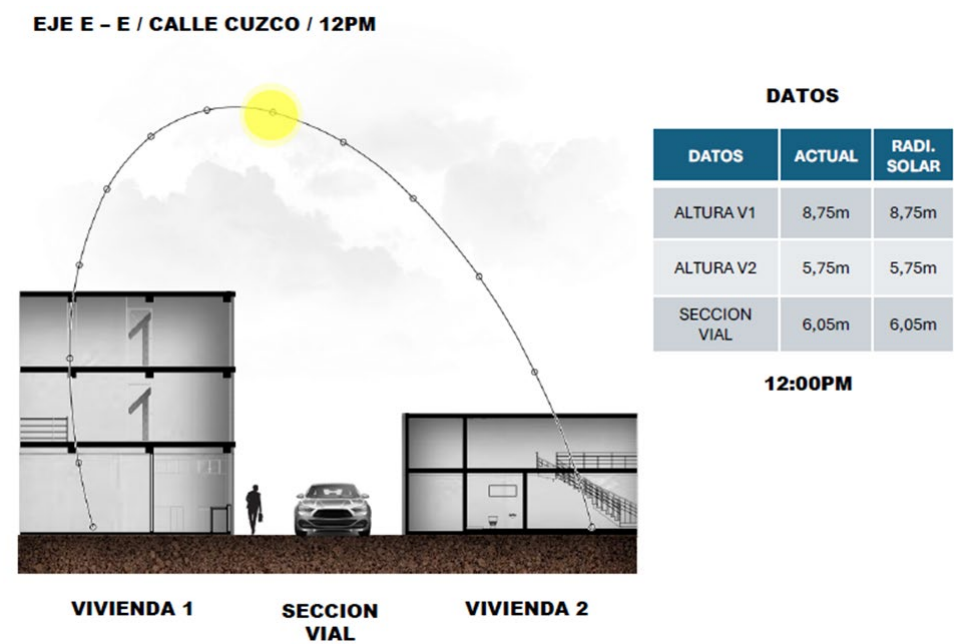
Figura 26
Cañón urbano calle Callao

EJE 6 - 6 / CALLE CALLAO / 12PM



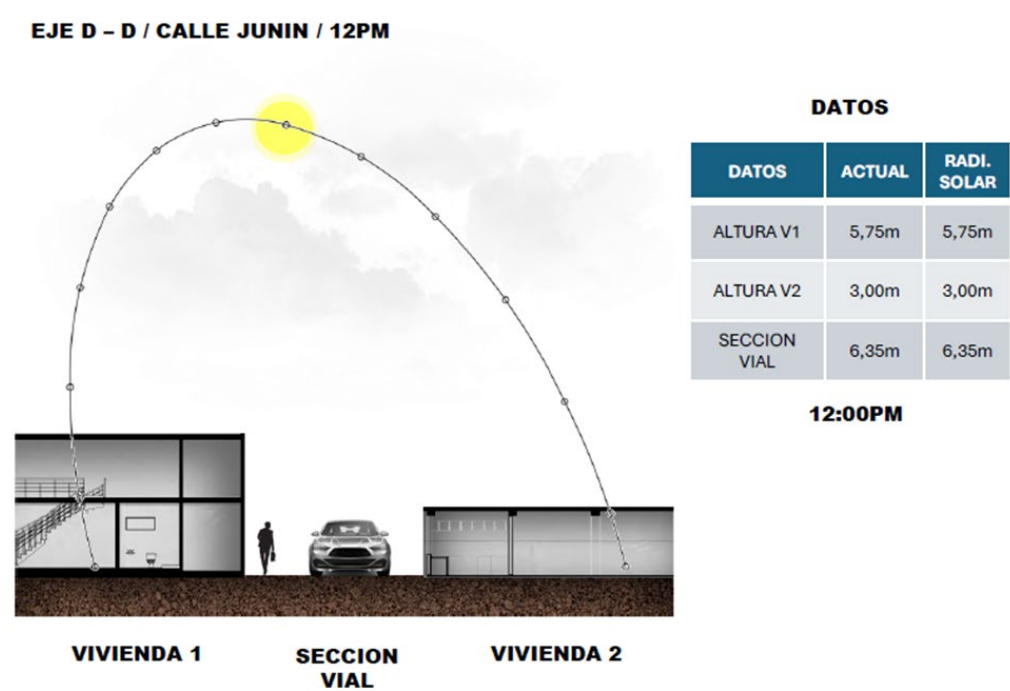
$$Hw= 4.37 + 6.20 / 2 = 0.70$$

Figura 27
Cañón urbano calle Cusco



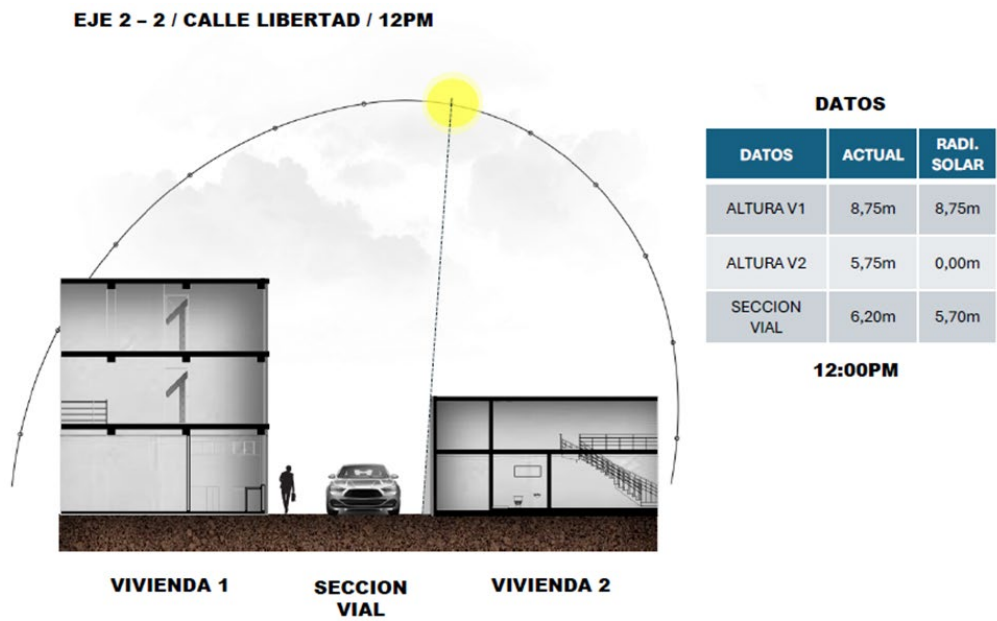
$$Hw= 4.37 + 6.20 / 2 = 0.70$$

Figura 28
Cañón urbano calle Junín



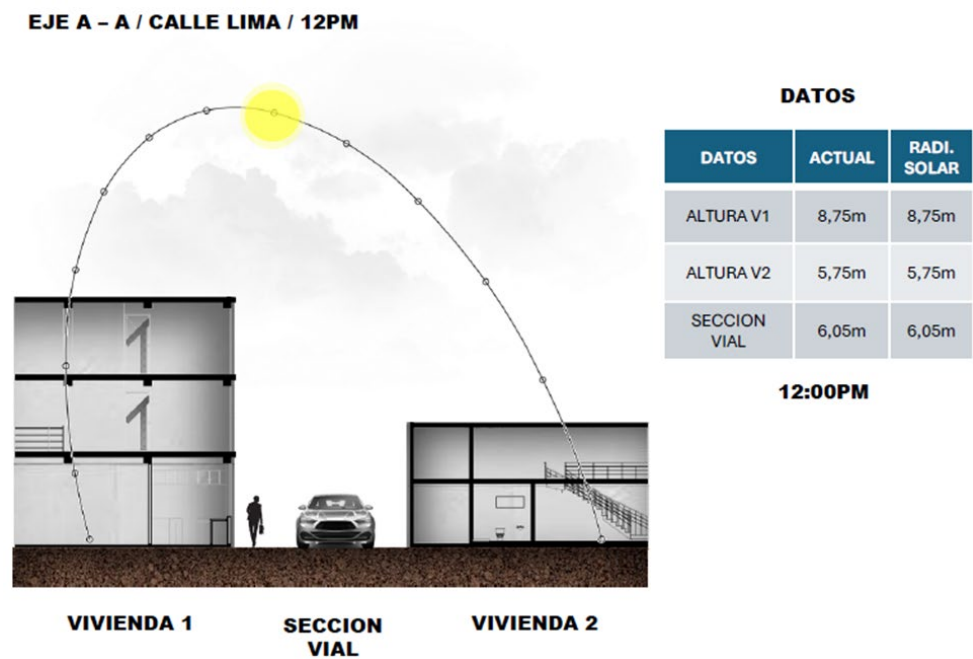
$$Hw= 4.37 + 6.20 / 2 = 0.70$$

Figura 29
Cañón urbano calle Libertad



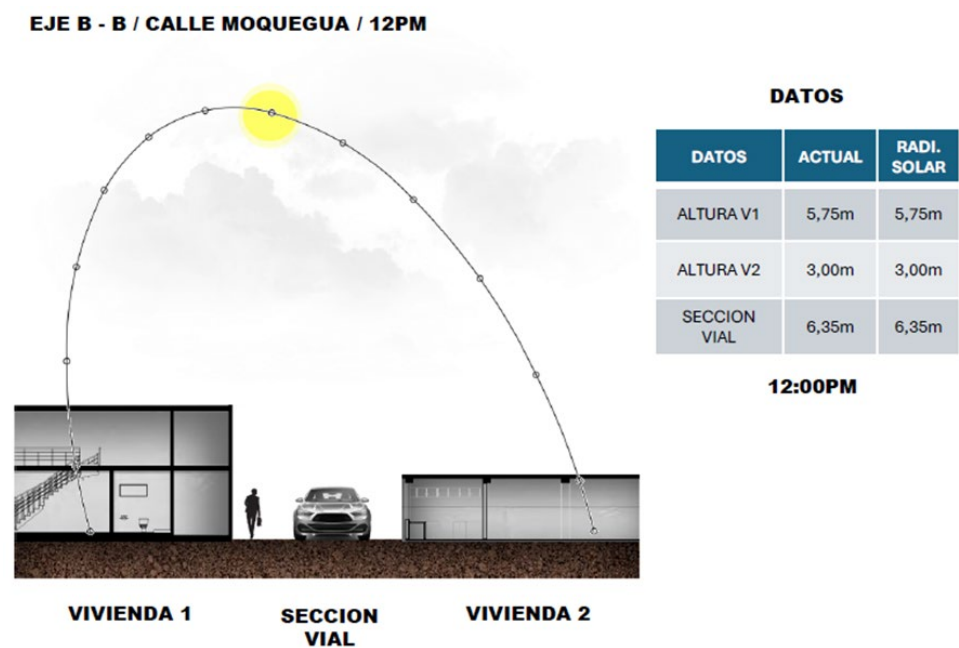
$$Hw= 7.25 + 6.20 / 2 = 1.17$$

Figura 30
Cañón urbano calle Lima



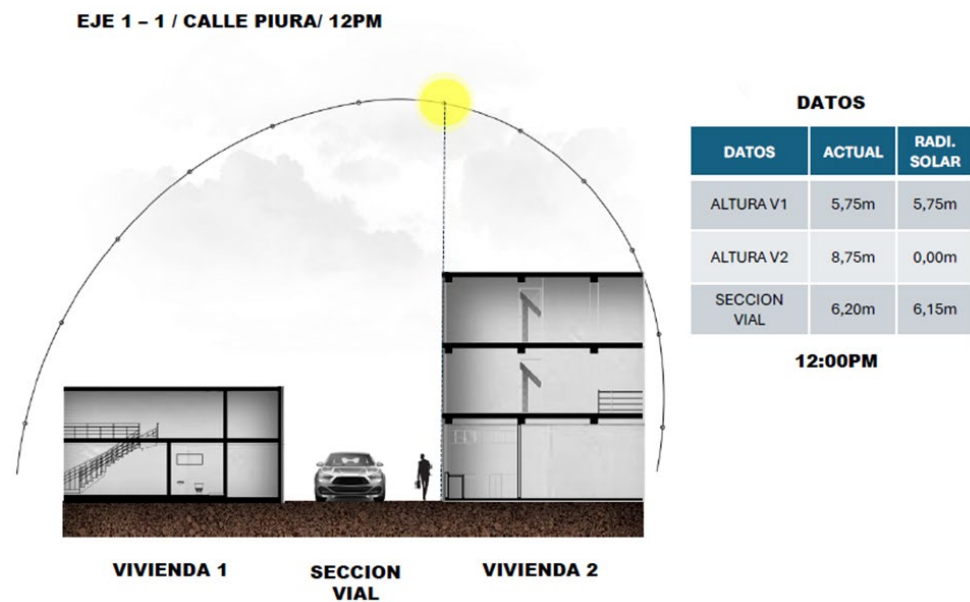
$$Hw= 7.25 + 6.05 / 2 = 1.20$$

Figura 31
Cañón urbano calle Moquegua



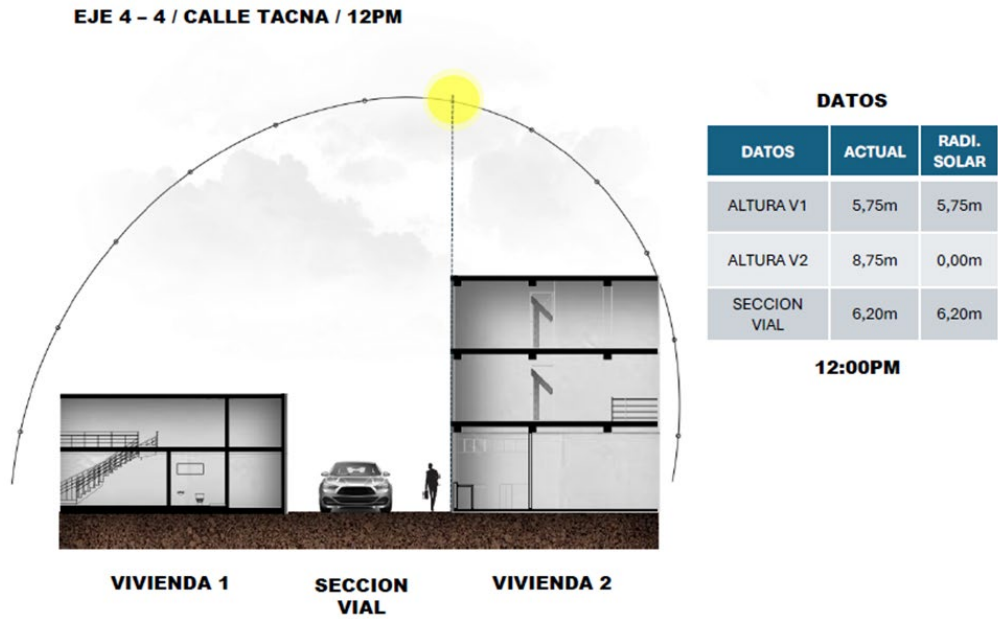
$Hw= 4.37 + 6.35 / 2 = 0.69$

Figura
Cañón urbano calle Piura



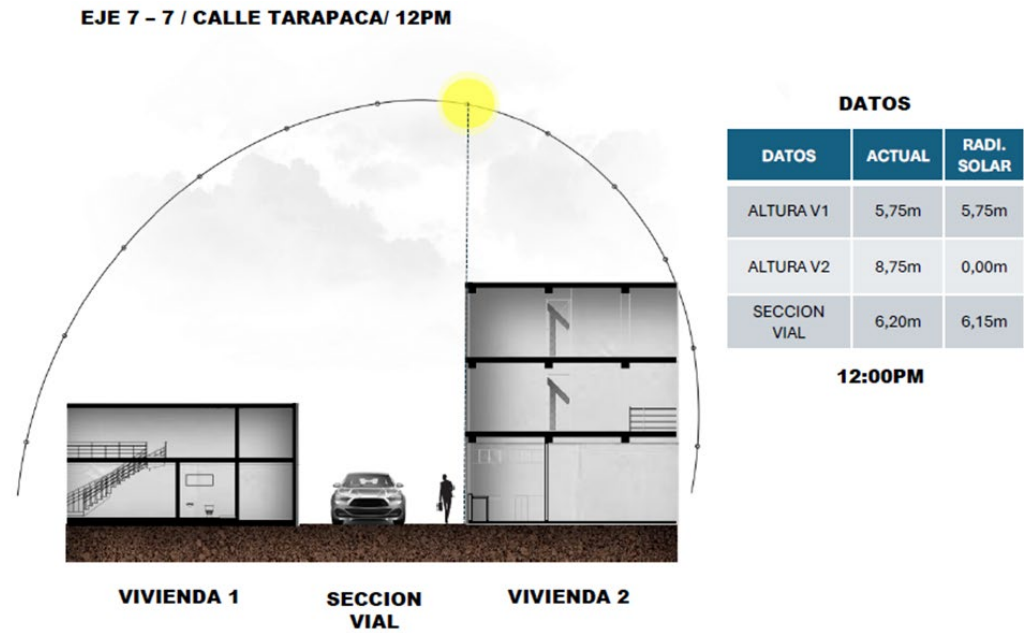
$Hw= 7.25 + 6.20 / 2 = 1.17$

Figura 33
Cañón urbano calle Tacna



$$Hw= 7.25 + 6.20 / 2 = 1.17$$

Figura 34
Cañón urbano calle Tarapacá



$$Hw= 7.25 + 6.20 / 2 = 1.17$$

Tabla 13
Cuadro comparativo

Calle	Altura 1 (H1)	Altura 2 (H2)	Sección vial (W)	H/W
Ancash	8.75	5.75	6.20	1.17
Arequipa	8.75	5.75	6.20	1.17
Ayacucho	3.00	5.75	6.35	0.69
Callao	5.75	3.00	6.20	0.70
Cusco	8.75	5.75	6.05	0.70
Junín	5.75	3.00	6.35	0.70
Libertad	8.75	5.75	6.20	1.17
Lima	8.75	5.75	6.05	1.20
Moquegua	5.75	3.00	6.35	0.69
Piura	5.75	8.75	6.20	1.17
Tacna	5.75	8.75	6.20	1.17
Tarapacá	5.75	8.75	6.20	1.17

Tabla 14
Valores para la interpretación de datos

Relación H/W	Tipo de cañón	Características bioclimáticas
Menor a 0.5	Cañón abierto	Buena ventilación, menos acumulación de calor.
0.5 – 1.0	Cañón medio	Equilibrio entre sombra y ventilación
Mayor a 1.0	Cañón profundo	Poca ventilación, alta retención térmica (efecto isla de calor)

Tabla 15
Tipo de cañón por calle.

Calle	H/W	Tipo de cañón	Características bioclimáticas
Ancash	1.17	Cañón profundo	Poca ventilación, alta retención térmica (efecto isla de calor)
Arequipa	1.17	Cañón profundo	Poca ventilación, alta retención térmica (efecto isla de calor)
Ayacucho	0.69	Cañón medio	Equilibrio entre sombra y ventilación

Callao	0.70	Cañón medio	Equilibrio entre sombra y ventilación
Cusco	0.70	Cañón medio	Equilibrio entre sombra y ventilación
Junín	0.70	Cañón medio	Equilibrio entre sombra y ventilación
Libertad	1.17	Cañón profundo	Poca ventilación, alta retención térmica (efecto isla de calor)
Lima	1.20	Cañón profundo	Poca ventilación, alta retención térmica (efecto isla de calor)
Moquegua	0.69	Cañón medio	Equilibrio entre sombra y ventilación
Piura	1.17	Cañón profundo	Poca ventilación, alta retención térmica (efecto isla de calor)
Tacna	1.17	Cañón profundo	Poca ventilación, alta retención térmica (efecto isla de calor)
Tarapacá	1.17	Cañón profundo	Poca ventilación, alta retención térmica (efecto isla de calor)

El análisis comparativo del tipo de cañón urbano evidencia una clara diferenciación morfológica entre las calles con relaciones H/W menores a 0.80 — como Ayacucho, Callao, Cusco, Junín y Moquegua— y aquellas con valores superiores a 1.10, entre las que destacan Lima, Tacna, Piura, Libertad y Tarapacá. En las primeras, el cañón medio genera un equilibrio adecuado entre sombra y ventilación, condición bioclimática favorable para el confort térmico en entornos urbanos de clima árido o templado, ya que permite disipar el calor acumulado durante el día y mantener niveles de irradiancia moderados sobre las fachadas.

Por el contrario, las calles con cañón profundo ($H/W \approx 1.17-1.20$) presentan mayor confinamiento espacial, lo que se traduce en reducción del flujo de aire y mayor retención térmica. Este comportamiento incrementa el riesgo de efecto isla de calor, sobre todo en tramas urbanas compactas donde las superficies asfaltadas y las fachadas con baja reflectancia acumulan calor durante el día y lo liberan lentamente durante la noche. Desde la perspectiva del diseño urbano, este patrón sugiere la necesidad de introducir estrategias de mitigación micro climática, tales como el uso de materiales de alta reflectancia, incorporación de vegetación lineal, incremento del albedo urbano y diseño de ventilaciones cruzadas. Asimismo, se recomienda revisar los perfiles viales y alturas edificatorias en sectores donde el cañón profundo genera sobrecalentamiento, de modo que se logre un balance más eficiente entre densidad urbana y desempeño térmico ambiental.

1. Priorización por tipo de calle del cuadro

- Cañón profundo ($H/W \approx 1.17-1.20$: Lima, Tacna, Piura, Libertad, Tarapacá): aplicar de inmediato Reglas 2 y 3; evaluar escalonamientos y ensanches puntuales.
- Cañón medio ($H/W \approx 0.69-0.70$: Ancash, Ayacucho, Callao, Cusco, Junín, Moquegua): mantener rango con arbolado y albedo controlado; evitar incrementos de altura que superen $H/W 1.00$ sin mitigación.

2. Levantamiento de datos microclimáticos y morfométricos

El levantamiento de datos se realiza durante el periodo estacional de máxima radiación solar, en intervalos de 60 minutos, registrando las siguientes variables:

- Temperatura del aire (T_a) y temperatura superficial (T_s)
- Materialidad y colorimetría de las envolventes urbanas (mediante ficha de reflectancia).

Los registros se realizan tanto a nivel de fachadas y pavimentos como en el centro del cañón.

3. Análisis del comportamiento térmico

Finalmente, se elabora un diagnóstico comparativo entre los distintos tipos de cañones y sus condiciones térmicas, estableciendo correlaciones entre la morfología urbana (H/W , orientación, materialidad) y el comportamiento térmico del aire.

Consideraciones técnicas

El método del cañón urbano permite cuantificar el grado de eficiencia climática del espacio construido, proporcionando insumos para el diseño arquitectónico y urbano orientado al control pasivo del microclima. Este diagnóstico constituye la base para proponer estrategias de mitigación de islas de calor, tales como incremento de vegetación, modificación de materiales superficiales, incorporación de sombras arquitectónicas y optimización de la morfología vial.

Resultados situación actual

Figura 35
Calle Ancash

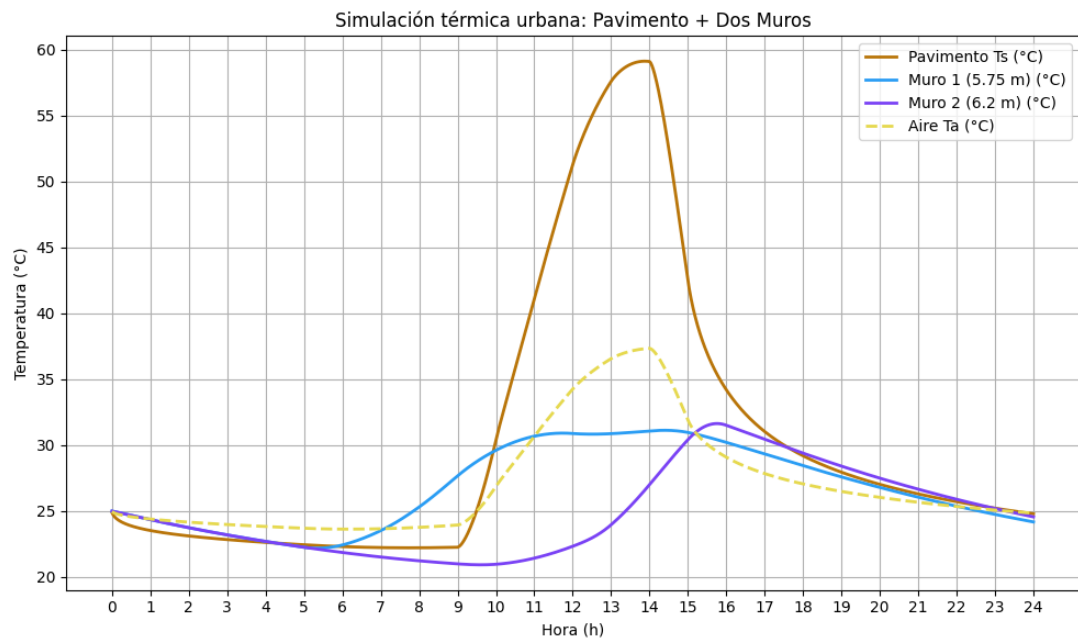


Figura 36
Calle Arequipa

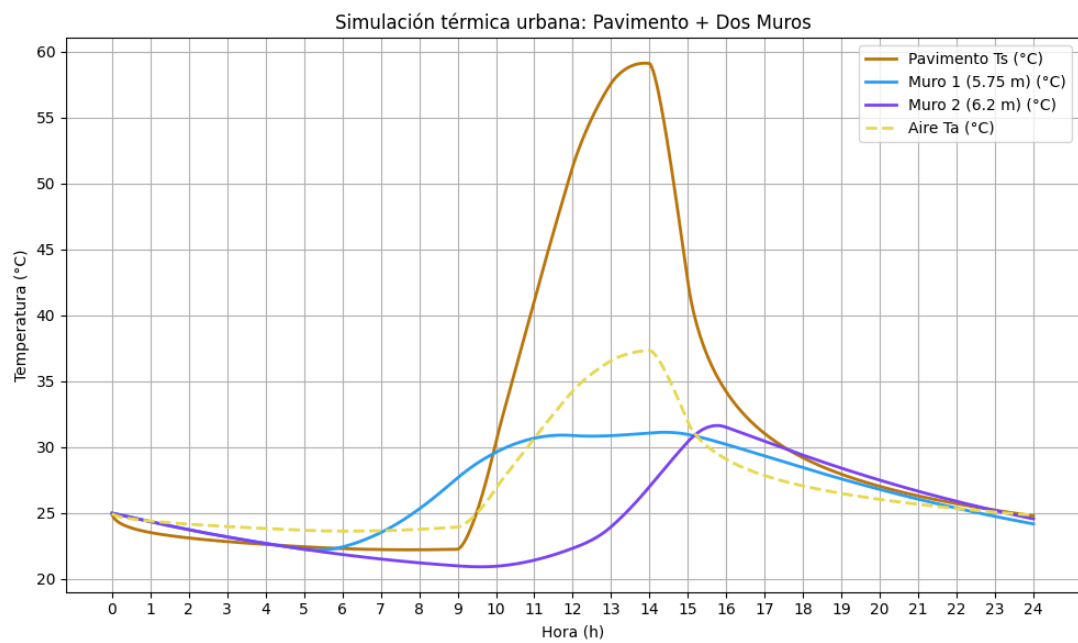


Figura 37
Calle Ayacucho

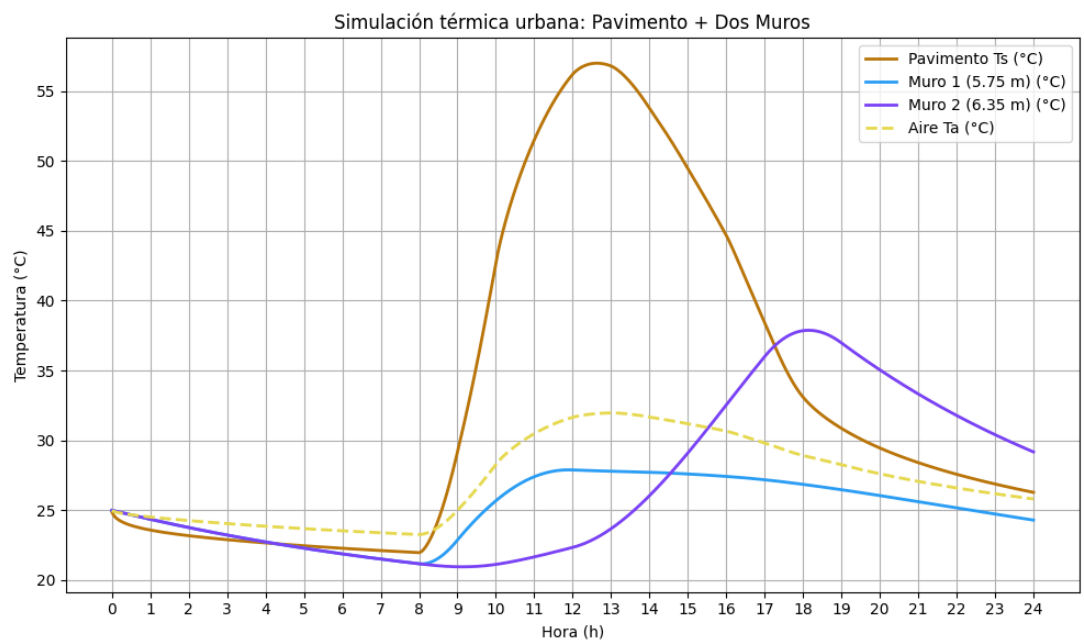


Figura 38
Calle Callao

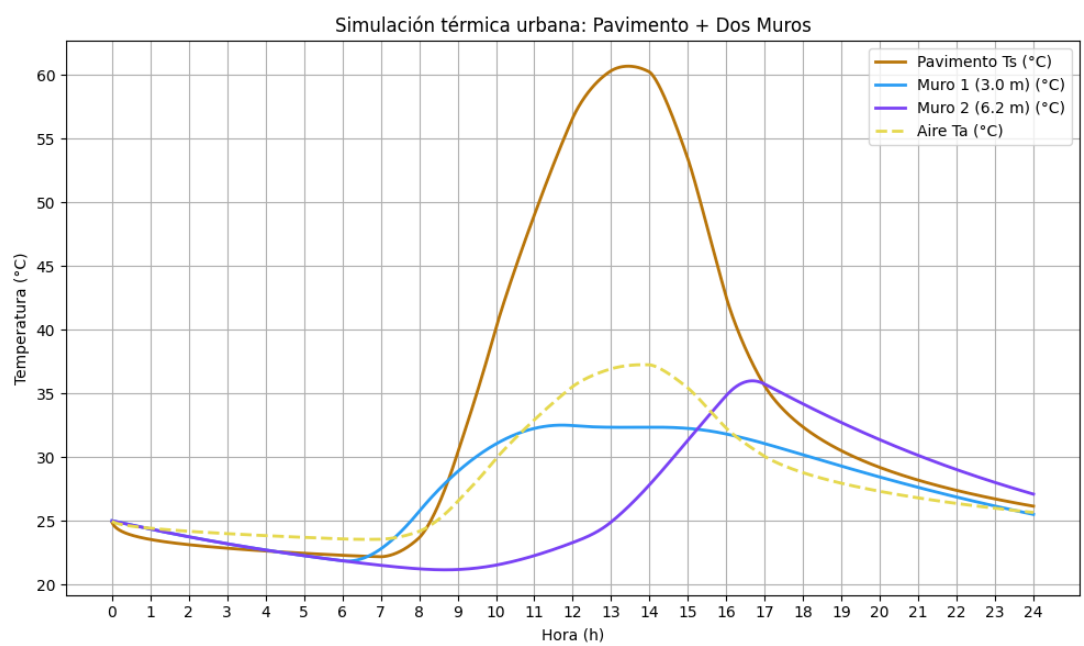


Figura 39
Calle Cusco

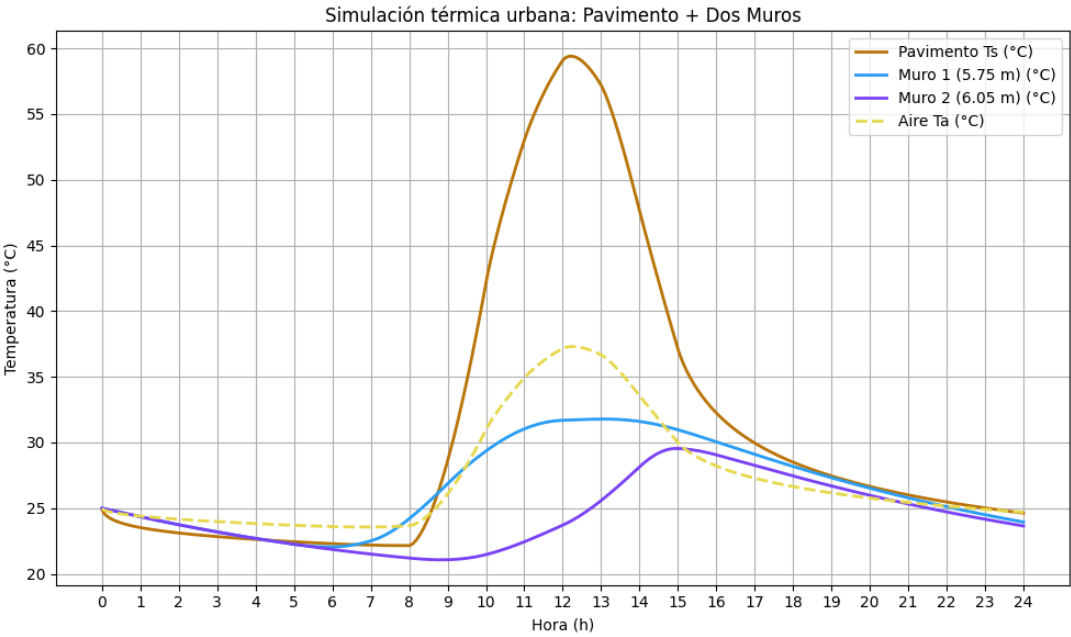


Figura 40
Calle Junín

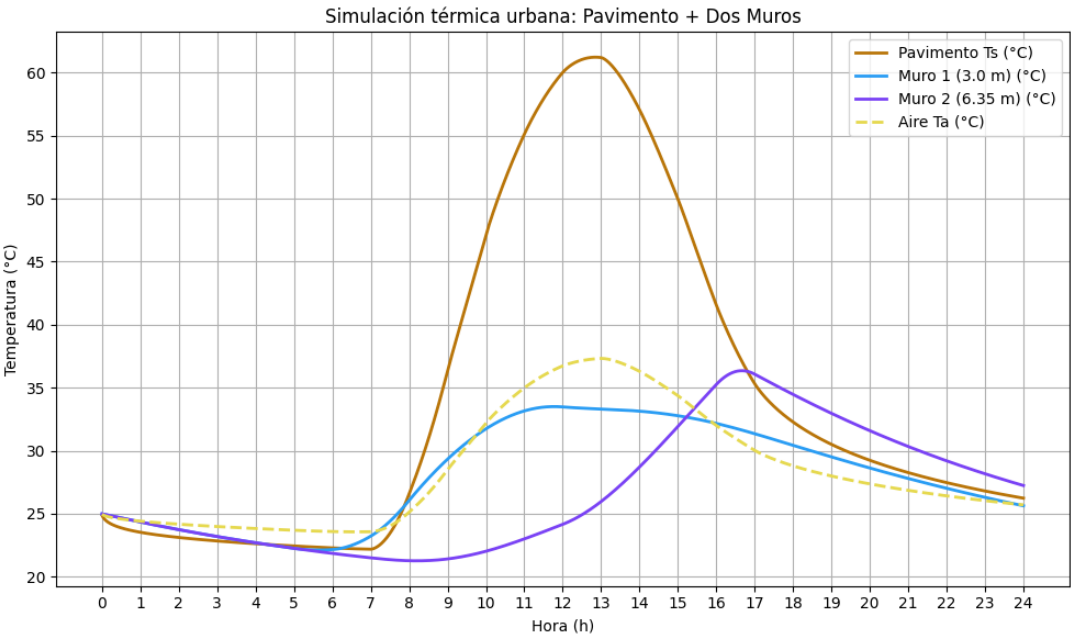


Figura 41
Calle Libertad

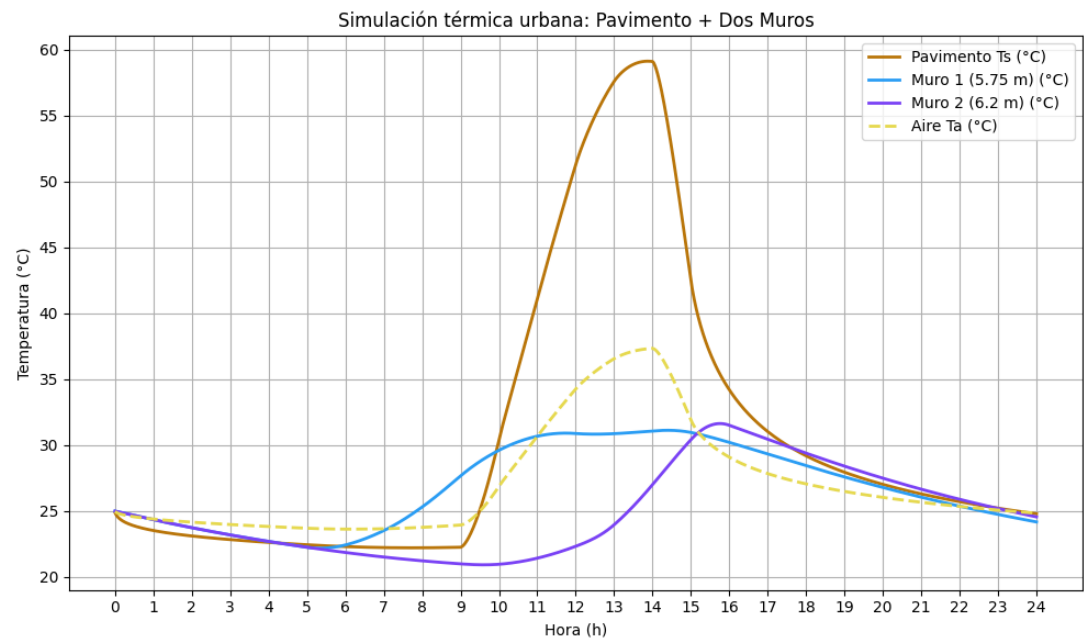


Figura 42
Calle Lima

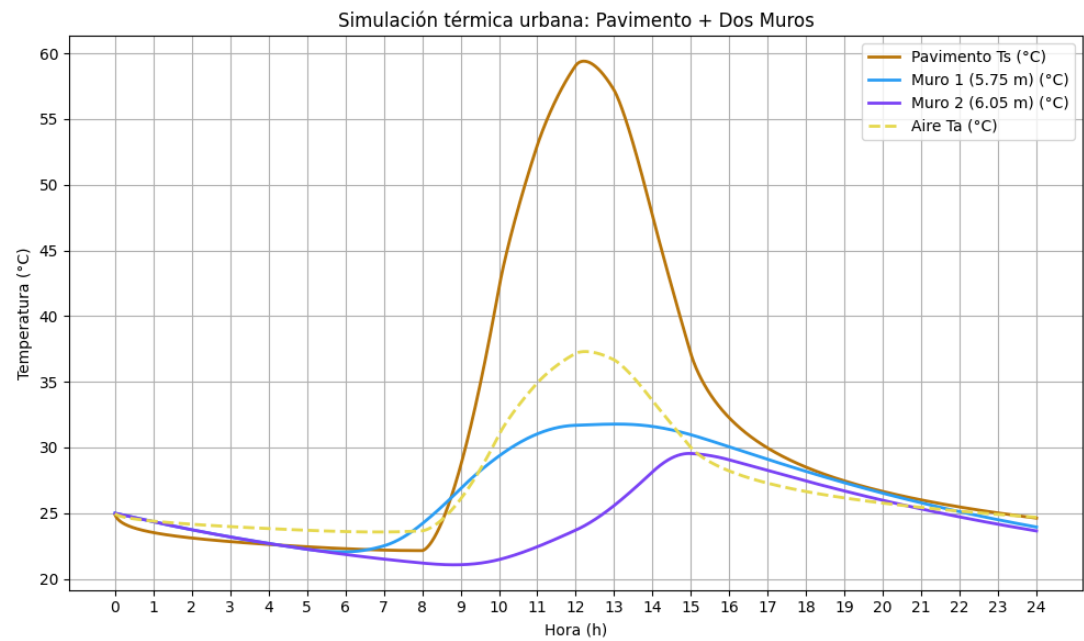


Figura 43
Calle Moquegua

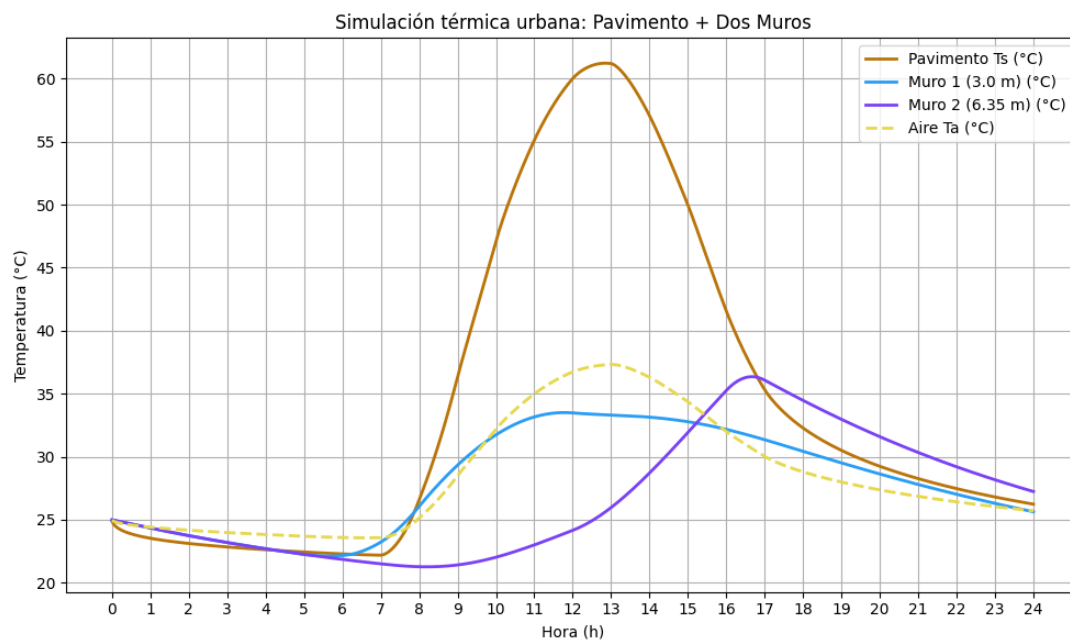


Figura 44
Calle Piura

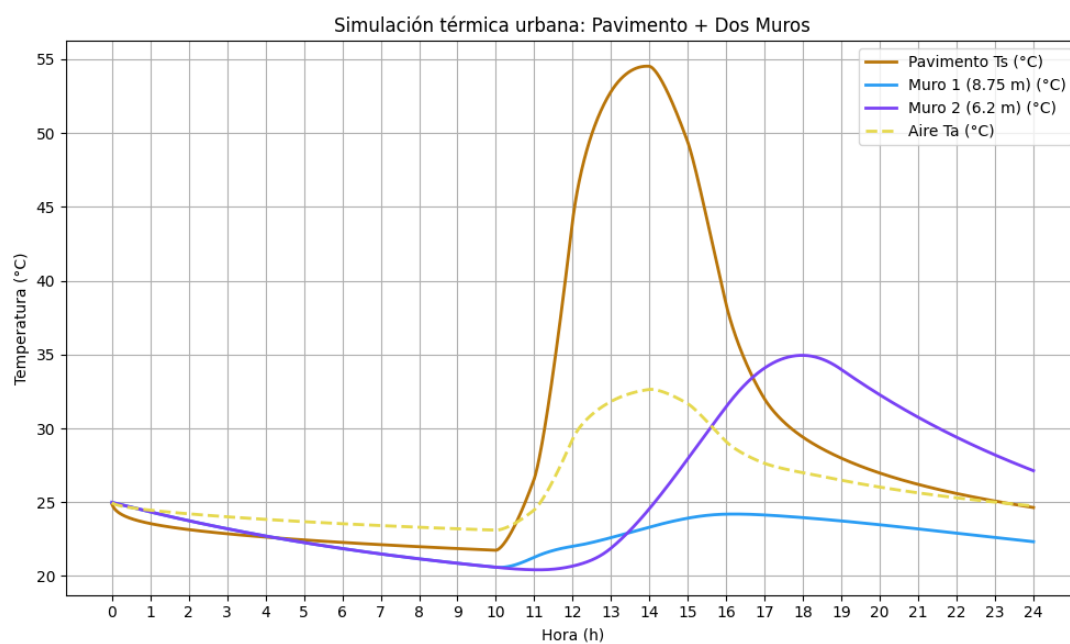


Figura 45
Calle Tacna

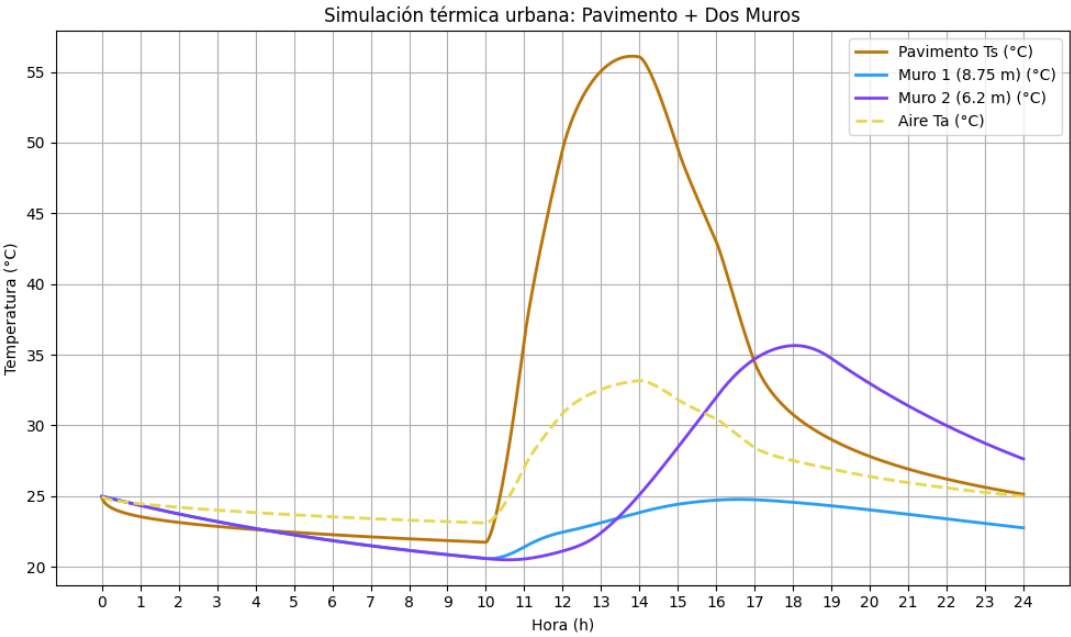


Figura 46
Calle Tarapacá

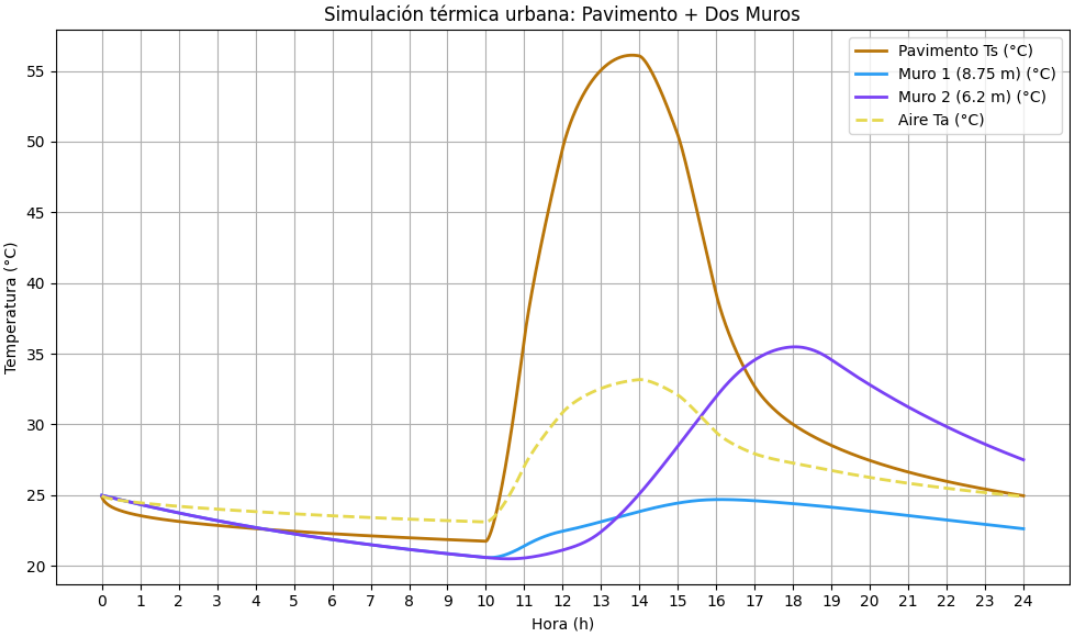


Figura 47
Consolidado de temperaturas

Región	Tmax Pavimento (°C)	Tmax Muro1 (°C)	Tmax Muro2 (°C)	Tmax Aire (°C)
CALLE LIMA	59.41	31.78	29.54	37.3
CALLE MOQUEGUA	61.23	33.5	36.35	37.32
CALLE AYACUCHO	57.0	27.89	37.88	31.97
CALLE JUNIN	61.23	33.5	36.35	37.32
CALLE CUZCO	59.41	31.78	29.54	37.3
CALLE PIURA	54.53	24.99	34.95	32.64
CALLE LIBERTAD	59.12	31.12	31.63	37.33
CALLE ANCASH	59.12	31.12	31.63	37.33
CALLE TACNA	56.11	24.99	35.65	33.17
CALLE AREQUIPA	59.12	31.12	31.63	37.33
CALLE CALLAO	60.67	32.5	35.97	37.24
CALLE TARAPACA	56.11	24.99	35.49	33.17

El análisis de temperaturas máximas evidencia una marcada influencia morfológica del cañón urbano sobre el comportamiento térmico de las superficies y el aire. Las calles con cañones profundos ($H/W > 1.10$) —como Ancash, Lima, Tacna, Arequipa, Libertad, Piura y Tarapacá— presentan una temperatura del aire promedio superior a 37 °C y pavimentos que superan los 59 °C, lo que confirma la retención de calor característica de espacios con ventilación restringida y alta densidad edificatoria. Este patrón concuerda con el efecto de isla de calor urbana, donde la radiación absorbida por materiales oscuros o de baja reflectancia se acumula y se libera lentamente, elevando las temperaturas nocturnas.

En contraste, las calles con cañones medios (H/W entre 0.65 y 0.75) —como Ayacucho, Junín, Cusco y Moquegua— muestran temperaturas del aire y muros más moderadas (31–33 °C), indicando mayor intercambio convectivo y equilibrio entre sombra y ventilación. En estos casos, la configuración urbana favorece el confort térmico peatonal, especialmente cuando se combina con arbolado y materiales de alta reflectancia. La temperatura del pavimento, que alcanza hasta 61.23 °C en Moquegua y Junín, evidencia la necesidad de estrategias de mitigación térmica basadas en el albedo y la permeabilidad superficial. Pavimentos con albedo medio (0.35–0.45), zonas verdes lineales y elementos sombreados pueden reducir hasta en 10 °C la temperatura superficial, mejorando el microclima urbano. Asimismo, la diferencia entre muros orientados opuestos (Muro1–Muro2) sugiere asimetría en la exposición solar, lo que refuerza la importancia de planificar orientaciones y alturas que eviten el sobrecalentamiento de fachadas.

PREMISAS

- 1) incorporar vegetación lineal
- 2) materiales reflectantes
- 3) ventilaciones cruzadas

La presente propuesta busca plantear estrategias de mitigación de las islas de calor urbano (ICU) mediante una cobertura vegetal del 40% en paramentos horizontales (secciones viales) y del 25% en paramentos verticales (fachadas), en el Cercado de Moquegua. Para su validación, se ha seleccionado como proyecto piloto el tramo de la Calle Áncash, comprendido entre la Calle Moquegua y la Calle Lima. Esta vía estratégica se caracteriza por registrar una alta densidad de flujos peatonales debido a su consolidada actividad comercial y a la presencia del Palacio Municipal; condiciones que justifican la urgencia de aplicar la propuesta en este sector para reducir el estrés térmico mediante la implementación de un 40% de cobertura vegetal en la calzada y un 25% en muros verdes. A partir de este caso de estudio, la investigación parte del análisis de las condiciones térmicas urbanas y de la evaluación de las características morfológicas del tejido urbano a través del método de cañón urbano. De esta manera, se pretende generar evidencia técnica replicable que contribuya al diseño de ciudades más sostenibles, resilientes y ambientalmente equilibradas, promoviendo alternativas de planificación urbana orientadas a mejorar la calidad de vida de la población y enfrentar los efectos locales del cambio climático.

4.1 Estrategias de mitigación de Islas de calor urbano

Figura 48

Sección B – B con 40% cobertura vegetal en retiro lateral derecho

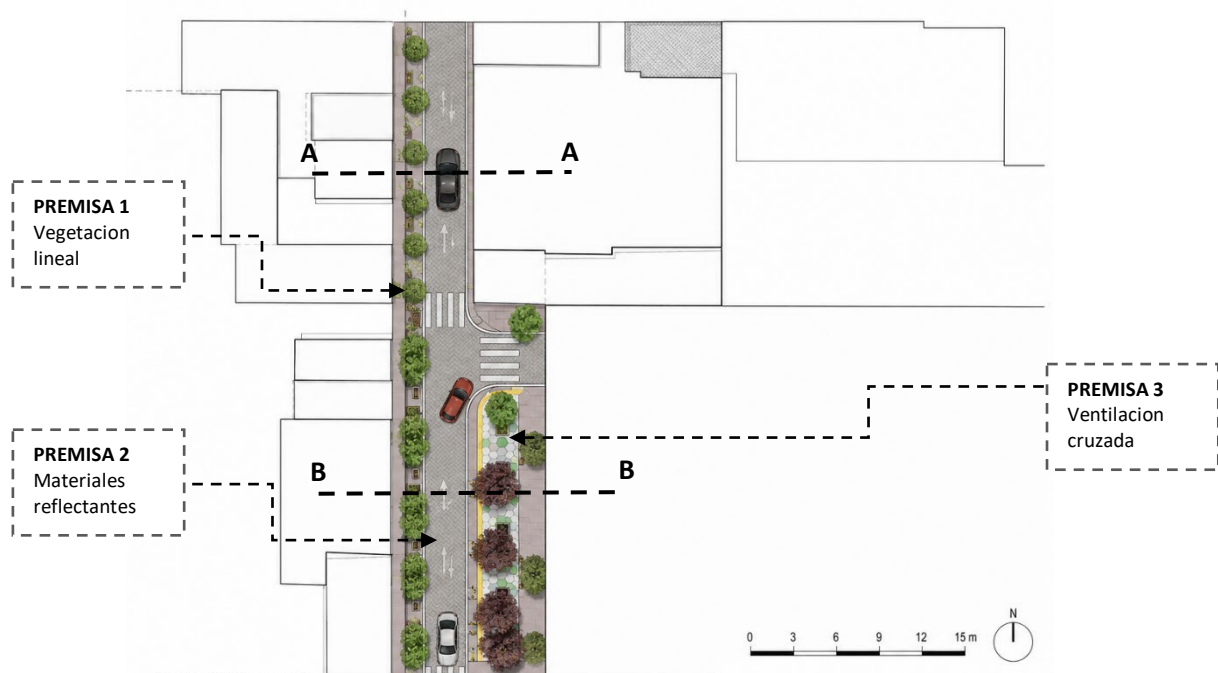


Figura 49

Sección A - A

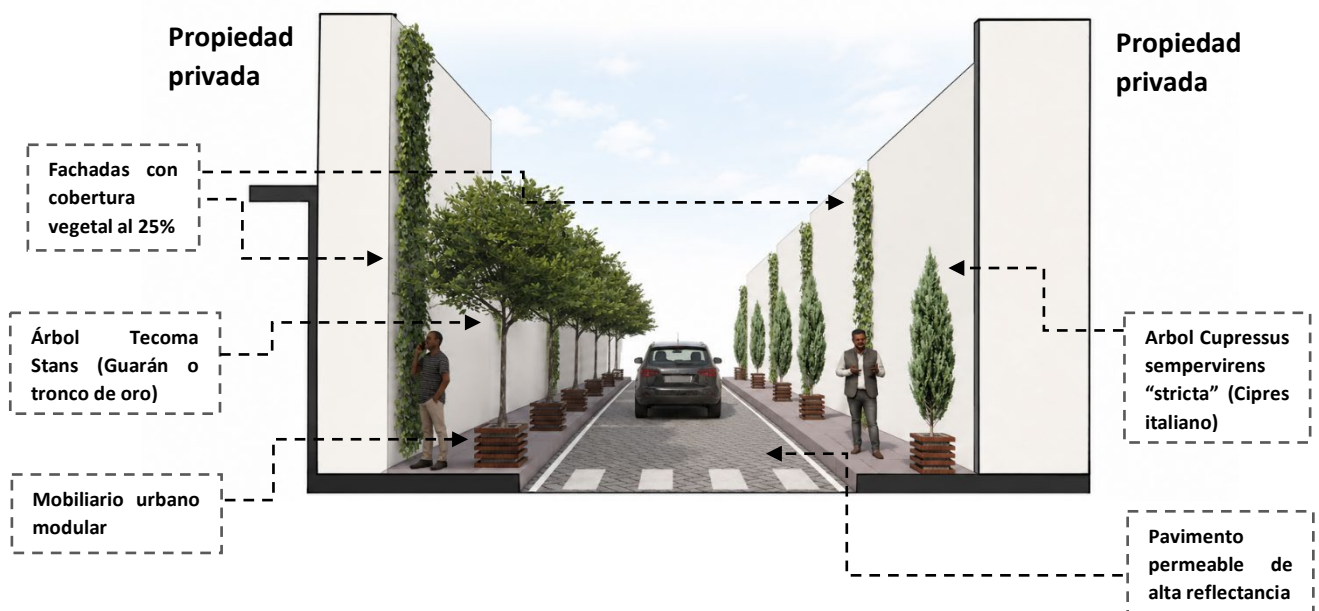


Figura 50
Sección B - B



4.2 Propuesta vegetal para mitigar ICU

4.2.1 Árboles de copa contenida

a) *Tecoma stans* (Guarán o tronco de oro)

- Altura: 4–6 m
- Copa: 3–4 m de diámetro
- Ventajas: resistente al calor, crecimiento medio, floración ornamental amarilla.
- Ideal para bermas estrechas.
- Distancia recomendada: 4–5 m entre árboles → caben 5–6 unidades en 25 metros.

Figura 51
***Tecoma stans* (Guarán o tronco de oro)**



b) *Schinus molle* juvenil en formato urbano (Molle serrano podado)

- Altura: 6–8 m y copa: 4–6 m (distancia 6 – 7 metros).
- Muy resistente a sequía y calor, opción nativa muy apropiada.

Figura 52

***Schinus molle* juvenil en formato urbano (Molle serrano podado)**



4.2.2 Árboles solo en formato “columna estrecha”

a) *Brachychiton populneus* var. “columnar” (árbol botella columna)

- Porte muy estrecho.
- Resiste sequía y calor.
- No invade la calzada.
- Solo 1 unidad, ubicado al centro de los 6 m.

Figura 53
Brachychiton populneus var. "columnar" (árbol botella columna)



b) *Cupressus sempervirens* "stricta" (ciprés italiano columnar)

- Altura vertical, base estrecha (40–60 cm).
- Imagen elegante y limpia.
- Tolera clima seco con riego moderado.
- Solo 1 unidad al centro.

Figura 54
***Cupressus sempervirens* "stricta" (ciprés italiano columnar)**



c) *Cercidium praecox* formateado a un solo fuste columnar

- Árbol árido muy resistente.
- Solo si se poda estrictamente los primeros años.
- 1 unidad máximo.

4.2.3 Árboles ornamentales

a) Jacarandá (*Jacaranda mimosifolia*) juvenil podado

- Altura: 6–8 m
- Copa: 4–5 m
- Requiere control ligero anual.
- Distancia: 5–6 m.

Figura 55

Jacarandá (*Jacaranda mimosifolia*) juvenil podado



b) *Bougainvillea spectabilis* formateada (*buganvilla arbustiva*)

- 2–3 m de altura. Soporta altísima radiación.
- Imagen ornamentada.

Figura 56
Bougainvillea spectabilis formateada (buganvilla arbustiva)

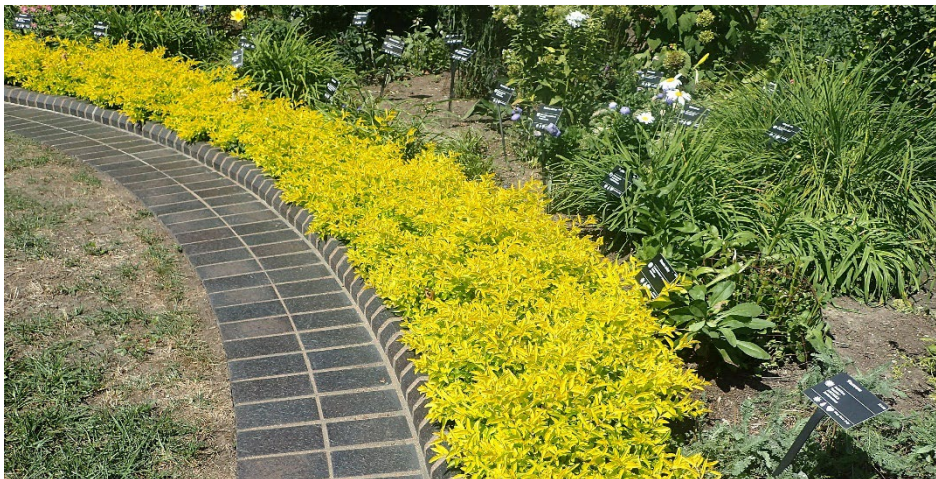


c) *Duranta erecta* “Gold”

- 0.8–1.2 m de altura. Color amarillo ideal para bermas urbanas

Figura 67

Figura 57
***Duranta erecta* “Gold”**



La modificación de la sección vial mediante el incremento del 40% de cobertura vegetal representa una intervención positiva y coherente con los principios contemporáneos de diseño urbano climático. Al aumentar la proporción de áreas verdes —particularmente mediante la alineación estratégica de especies adaptadas como el *Cupressus sempervirens* ‘*Stricta*’ (ciprés italiano columnar), la

Bougainvillea spectabilis (buganvilla arbustiva gestionada) y la ***Duranta erecta*** '**Gold**'— se genera un cambio significativo en la dinámica térmica del espacio público. La vegetación empieza a actuar como un regulador microclimático: reduce la absorción de calor del pavimento, incorpora superficies permeables y aporta sombra directa en franjas críticas como veredas y áreas de estancia peatonal.

Este incremento vegetal, además de suavizar el impacto térmico de las superficies, introduce un sistema de evapotranspiración que contribuye a disminuir la temperatura superficial de los adoquines y del entorno inmediato. En paralelo, la presencia del *Cupressus sempervirens* '*Stricta*' permite estructurar el cañón urbano con hitos esbeltos de crecimiento vertical que interceptan la radiación solar sin obstruir el gálibo de la calzada en perfiles compactos. Asimismo, los encuadres de color y biomasa aportados por la *Bougainvillea spectabilis* y el contraste cromático de la *Duranta erecta* '*Gold*' en los contenedores urbanos mitigan de forma efectiva la formación de islas de calor urbano en tramos donde antes predominaba la exposición directa de paramentos grises y blancos.

La intervención no solo mejora el confort térmico de peatones y transeúntes, sino que también transforma la sección vial en un corredor más habitable, con mejor calidad del aire y una sensación ambiental más estable. En conjunto, el aumento del 40% de cobertura vegetal demuestra que variaciones precisas en la geometría y composición de la sección —utilizando paletas vegetales de bajo consumo hídrico y alta resiliencia solar sin alterar el flujo funcional de la vía— pueden producir efectos climáticos sustanciales. La calle deja de operar únicamente como un canal de movilidad y pasa a funcionar como un espacio climático regulador dentro de la trama urbana.

4.3 Resultados con 40% de cobertura vegetal en secciones viales

Figura 58
Calle Ancash con 40% de cobertura vegetal

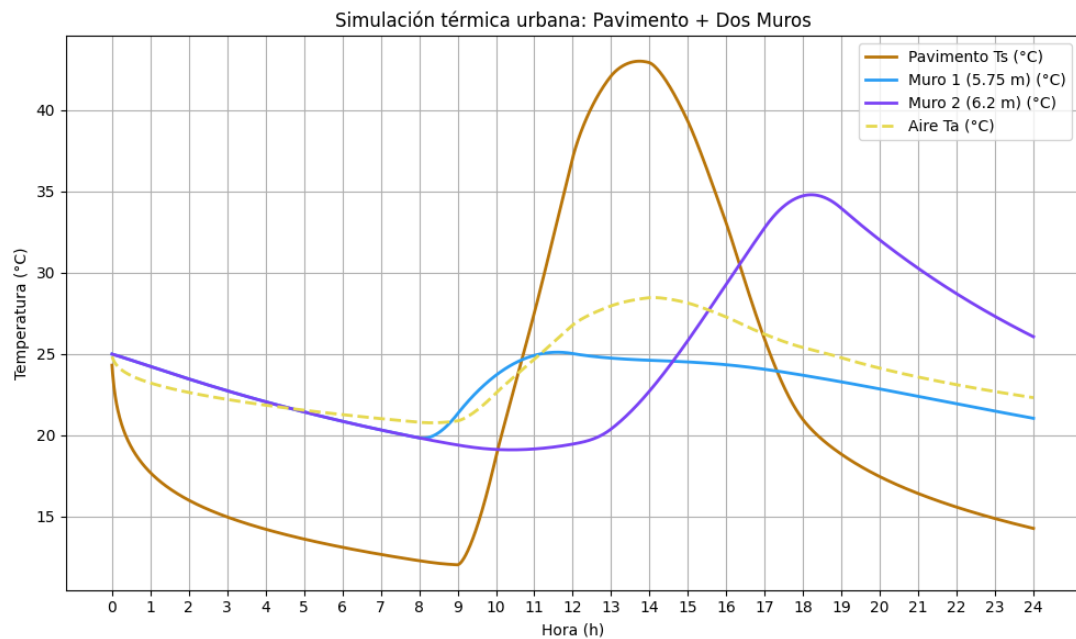


Figura 59
Calle Arequipa con 40% de cobertura vegetal

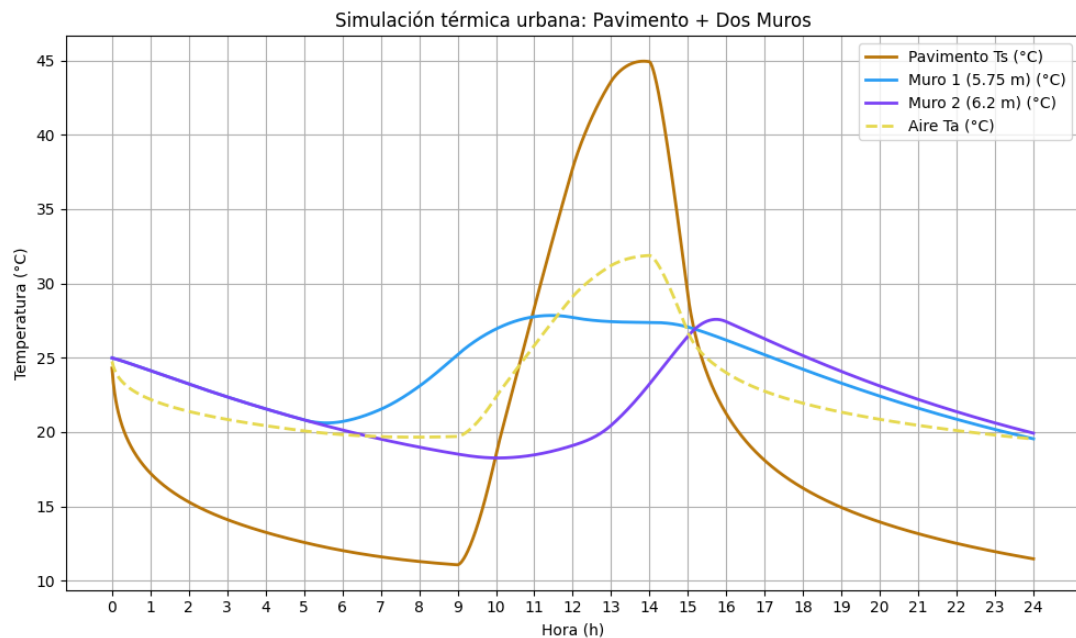


Figura 60
Calle Ayacucho con 40% de cobertura vegetal

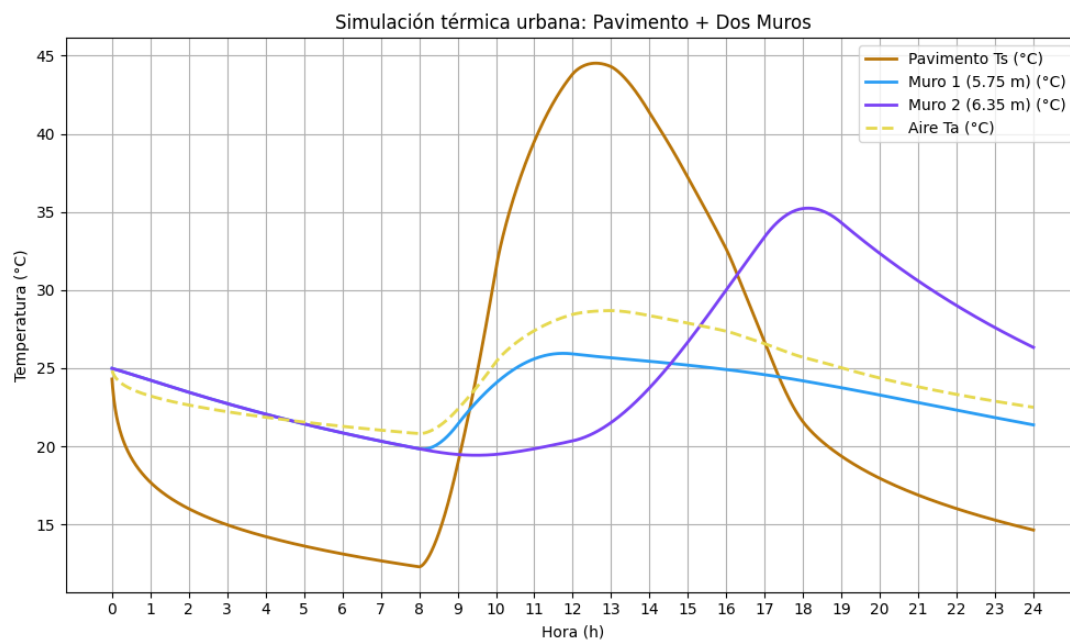


Figura 61
Calle Callao con 40% de cobertura vegetal

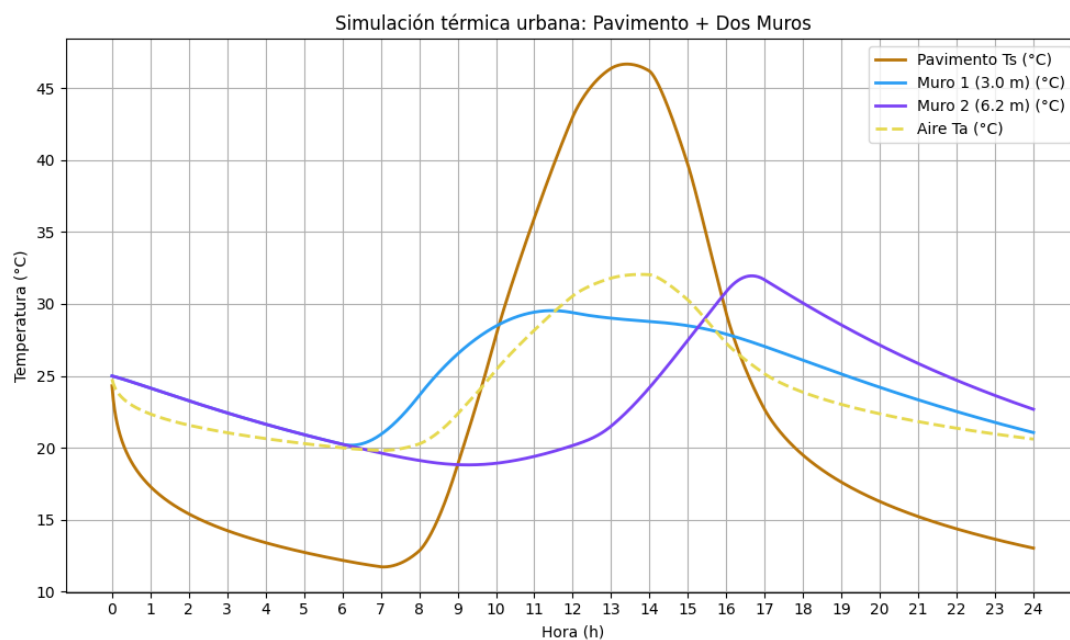


Figura 62
Calle Cusco con 40% de cobertura vegetal

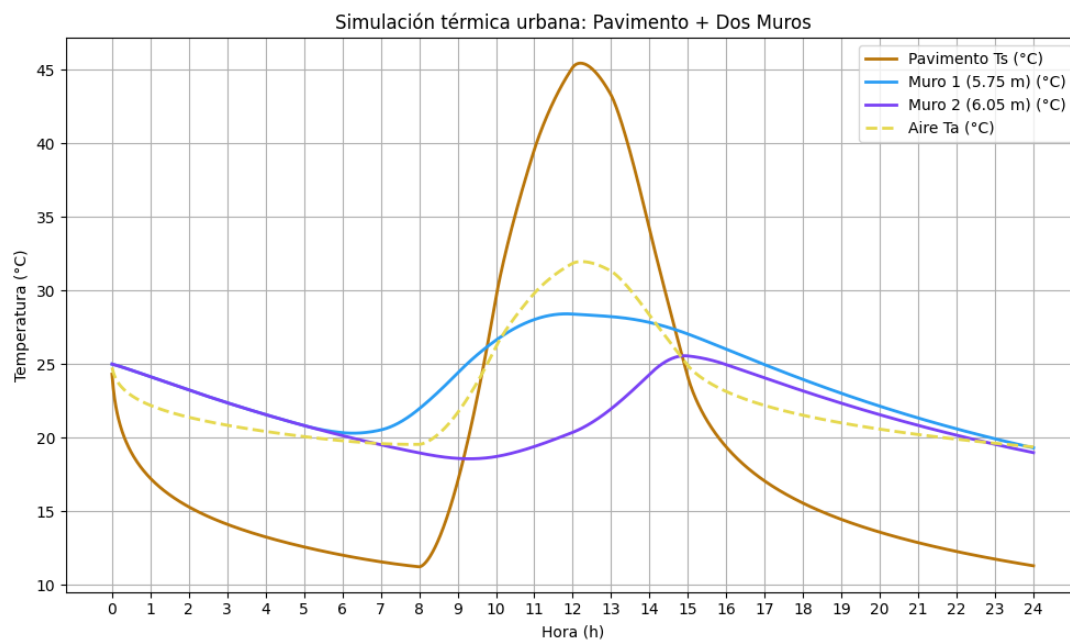


Figura 63
Calle Junín con 40% de cobertura vegetal

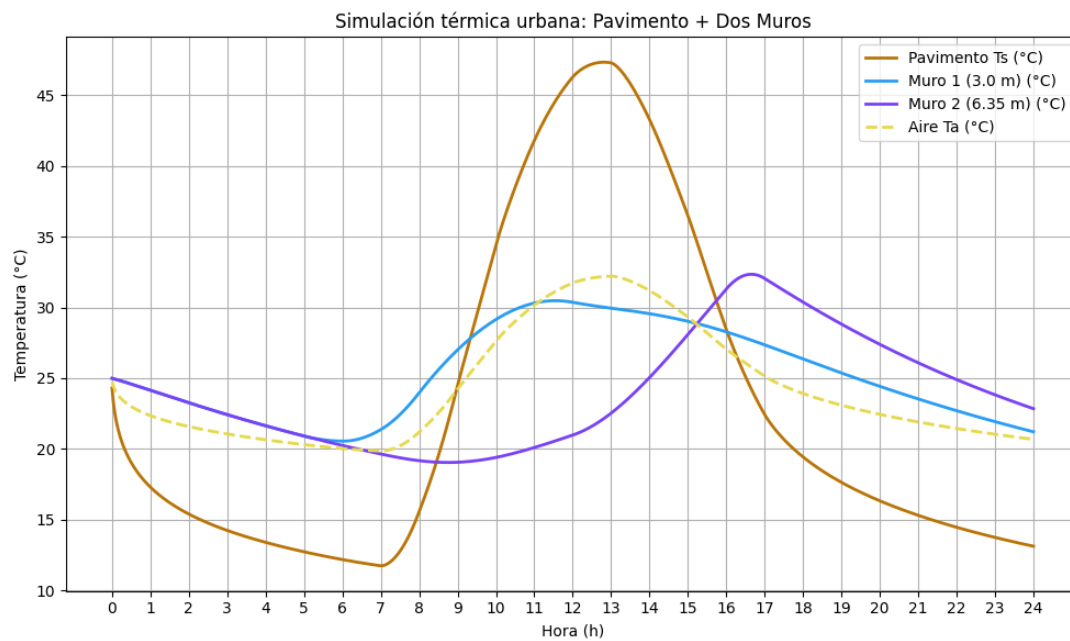


Figura 64
Calle Libertad con 40% de cobertura vegetal

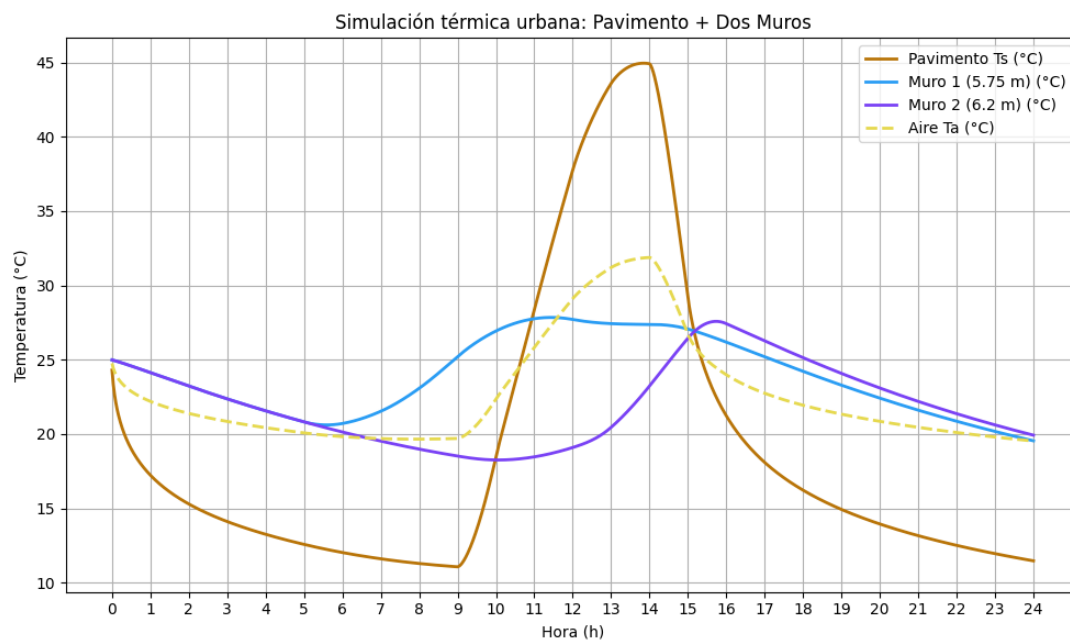


Figura 65
Calle Lima con 40% de cobertura vegetal

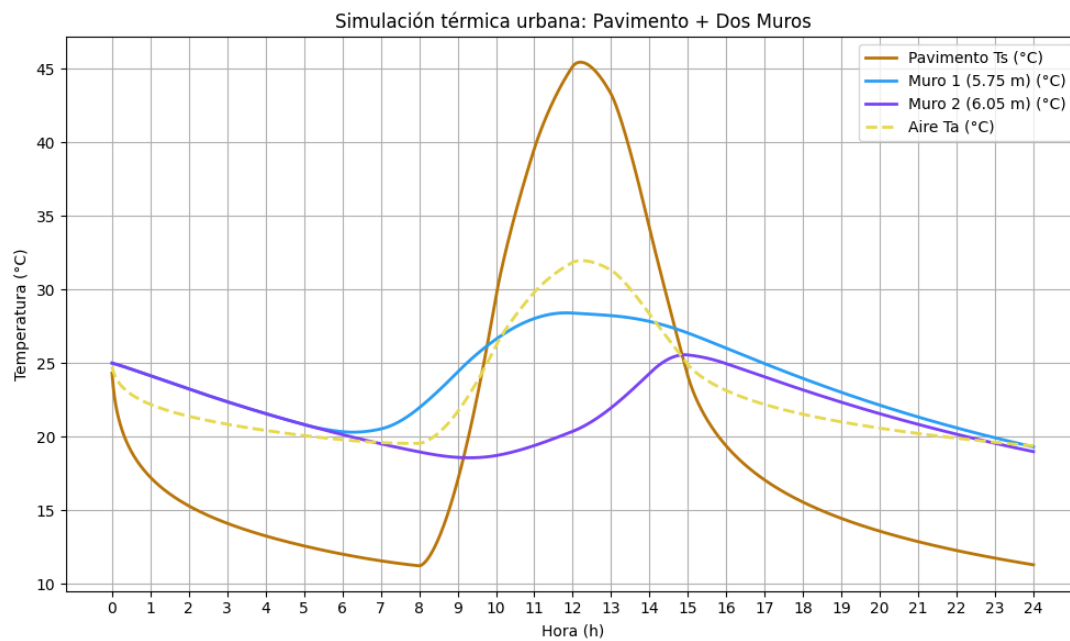


Figura 66
Calle Moquegua con 40% de cobertura vegetal

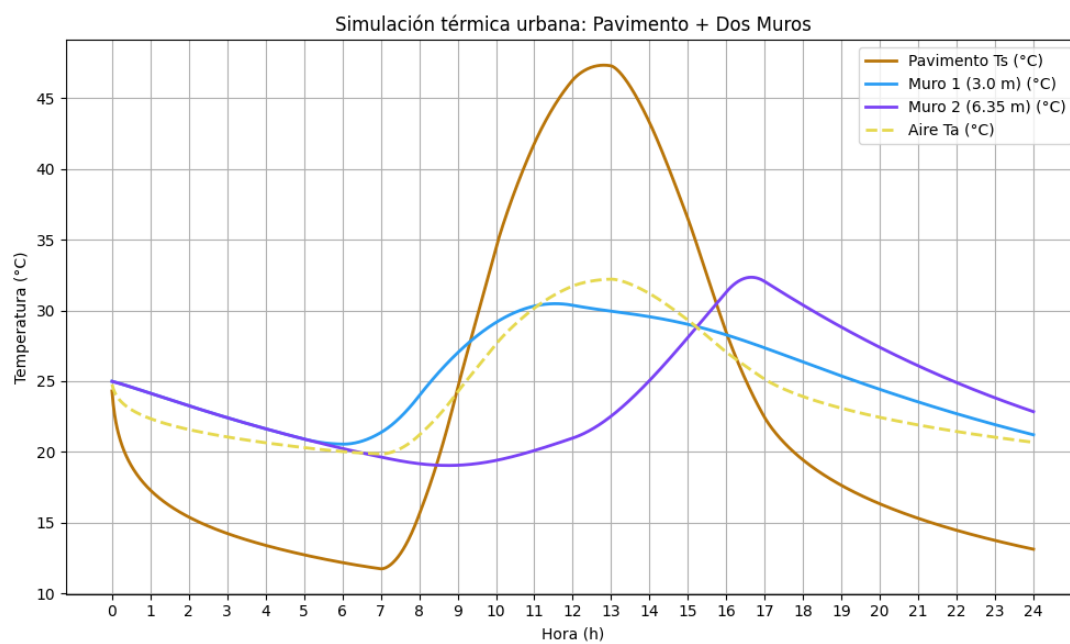


Figura 67
Calle Piura con 40% de cobertura vegetal

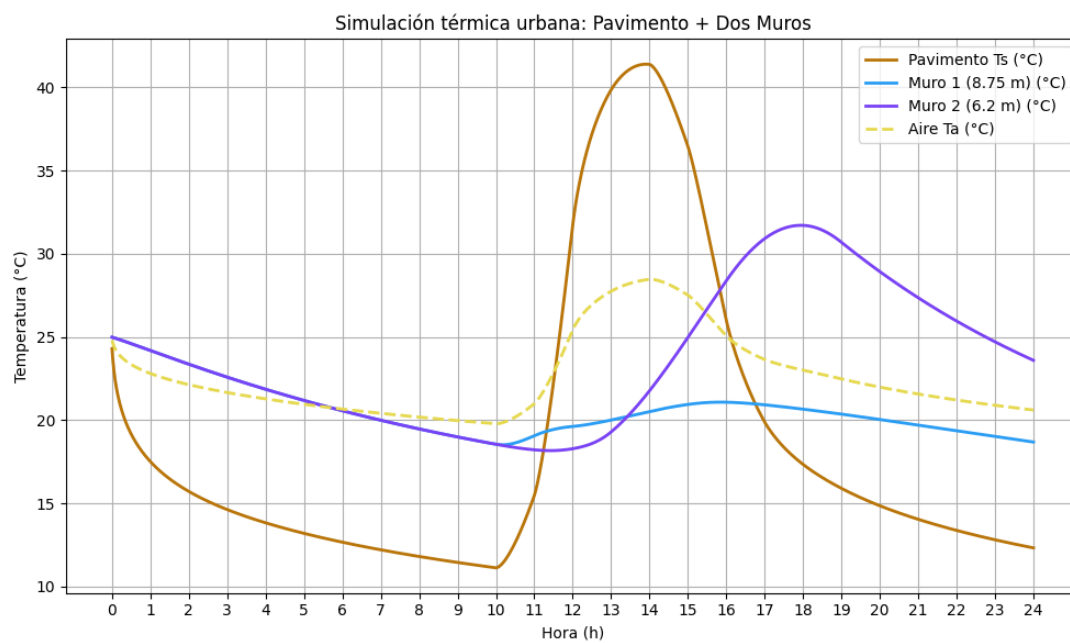


Figura 68
Calle Tacna con 40% de cobertura vegetal

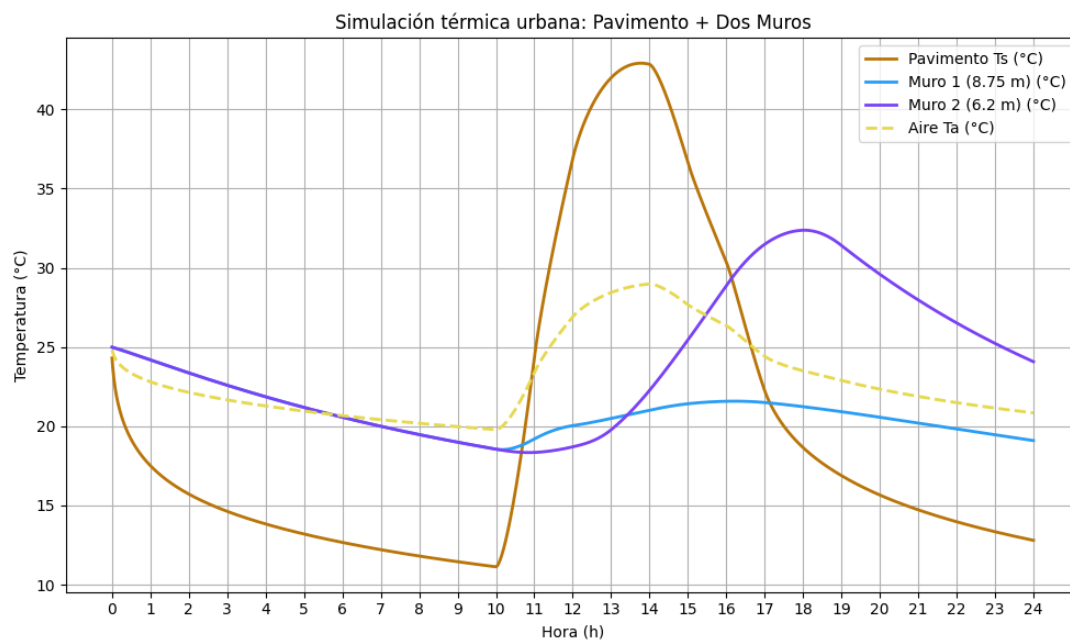


Figura 69
Calle Tarapacá con 40% de cobertura vegetal

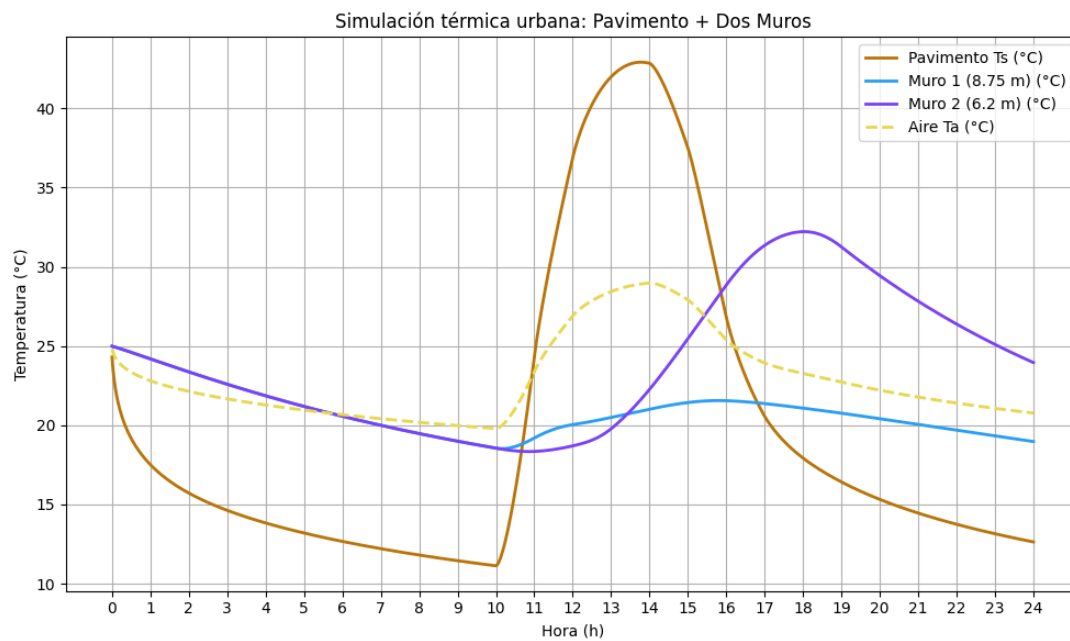


Figura 70
Consolidado de temperatura por calles

Región	Tmax Pavimento (°C)	Tmax Muro1 (°C)	Tmax Muro2 (°C)	Tmax Aire (°C)
CALLE LIMA	45.43	28.4	25.55	31.95
CALLE MOQUEGUA	47.31	30.47	32.34	32.21
CALLE AYACUCHO	44.51	25.95	35.24	28.68
CALLE JUNIN	47.31	30.47	32.34	32.21
CALLE CUZCO	45.43	28.4	25.55	31.95
CALLE PIURA	41.4	24.99	31.71	28.47
CALLE LIBERTAD	44.95	27.84	27.58	31.88
CALLE ANCASH	44.95	27.84	27.58	31.88
CALLE TACNA	42.91	24.99	32.37	28.98
CALLE AREQUIPA	44.95	27.84	27.58	31.88
CALLE CALLAO	46.67	29.53	31.95	32.05
CALLE TARAPACA	42.91	24.99	32.22	28.98

4.3.1 Análisis técnico comparativo de la temperatura ambiente

Los cuadros comparados entre la sección vial actual y la sección vial con un 40% de cobertura vegetal, muestran un cambio importante en el comportamiento térmico del espacio urbano cuando se incrementa la cobertura vegetal. La primera tabla representa la condición sin cobertura vegetal significativa, mientras que la segunda corresponde a la sección vial intervenida con vegetación. La comparación se hace principalmente en la columna “Tmax Aire (°C)”.

1. Reducción directa de la temperatura del aire

En todas las calles evaluadas se observa una reducción clara de la temperatura máxima del aire tras la incorporación de vegetación. La disminución oscila entre:

- $\approx 5^{\circ}\text{C}$ y 7°C en promedio, dependiendo del perfil urbano de cada calle.
- Este rango es altamente significativo en contextos urbanos cálidos.

Tabla 16
Comparativo

Calle	Sin vegetación	Con vegetación	Reducción
Calle Lima	37.3°C	31.95°C	-5.35°C
Calle Moquegua	37.32°C	32.21°C	-5.11°C
Calle Cuzco	37.3°C	31.95°C	-5.35°C
Calle Tacna	33.17°C	28.98°C	-4.19°C

Calle Ancash	37.33°C	31.88°C	-5.45°C
Calle Ayacucho	31.97°C	28.68°C	-3.29°C
Calle Junín	37.32°C	32.21°C	-5.11°C
Calle Piura	32.64°C	28.47°C	-4.17°C
Calle Libertad	37.33°C	31.88°C	-5.45°C
Calle Arequipa	37.33°C	31.88°C	-5.45°C
Calle Callao	37.24°C	32.05°C	-5.19°C
Calle Tarapacá	33.17°C	28.98°C	-4.19°C

Todas las calles muestran reducciones superiores a 3°C, lo que evidencia un impacto térmico altamente eficiente.

2. Relación entre pavimento menos caliente y aire más fresco

La intervención vegetal no solo reduce la temperatura del aire: también reduce drásticamente la temperatura superficial del pavimento, que pasa de:

- ≈ 54–61°C sin vegetación a
- ≈ 41–47°C con vegetación

Esta reducción de ≈ **13°C a 20°C** en pavimento es clave porque:

- Menos radiación reflejada → menos calentamiento del aire circundante.
- La sombra arbórea intercepta la radiación directa y reduce el albedo.
- El suelo sombreado mantiene microclimas más estables.

La caída del pavimento caliente explica la caída simultánea en la temperatura del aire.

3. Patrones repetitivos: calles con vegetación responden de manera similar

Calles muy diferentes (Ancash, Lima, Moquegua, Cuzco, Libertad, Callao, Arequipa) muestran casi el mismo comportamiento térmico una vez intervenidas:

- Temperatura de aire final ≈ **30–31°C** en calles originalmente más calientes.
- Temperatura de aire final ≈ **26–27°C** en calles originalmente más templadas.

Esto indica que la vegetación:

- Uniformiza la sensación térmica urbana.

- Reduce la variabilidad térmica entre calles duras y calles expuestas.
- Genera un estándar microclimático más comfortable.

La comparación muestra que incrementar la cobertura vegetal en la sección vial logra una reducción consistente y significativa en la temperatura ambiente. La vegetación funciona como un regulador microclimático por tres mecanismos simultáneos:

1. **Sombra directa** → menor radiación sobre veredas y pavimento.
2. **Reducción de superficies calientes** → pavimento baja hasta 20°C.
3. **Evapotranspiración** → el aire se enfría de manera natural.

Resultado global: La temperatura del aire disminuye entre **3°C y 5°C**, lo cual es suficiente para:

- Reducir la formación de islas de calor urbano.
- Mejorar la sensación térmica peatonal y aumentar confort climático de la calle.

Resultados de la temperatura ambiente con 40% de cobertura vegetal en la sección vial + 25% de cobertura vegetal en jardines verticales colocados en ambas fachadas.

La incorporación simultánea de un 40% de cobertura vegetal en la sección vial y un 25% de jardines verticales en ambas fachadas puede generar una disminución sustancial de la temperatura ambiente del corredor urbano. Esta combinación produce un efecto microclimático más robusto que la vegetación en superficie por sí sola, pues actúa sobre los tres frentes térmicos de la calle: el pavimento, los muros y el volumen de aire confinado entre fachadas. Este efecto combinado atenúa la acumulación térmica típica de los cañones urbanos, optimizando la disipación del calor.

Figura 71
Calle Ancash con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.

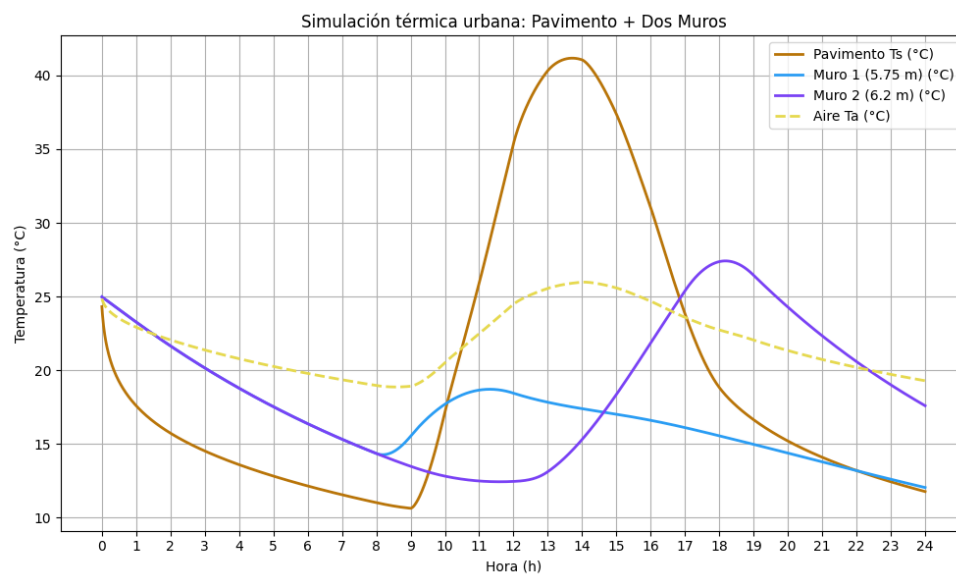


Figura 72
Calle Arequipa con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.

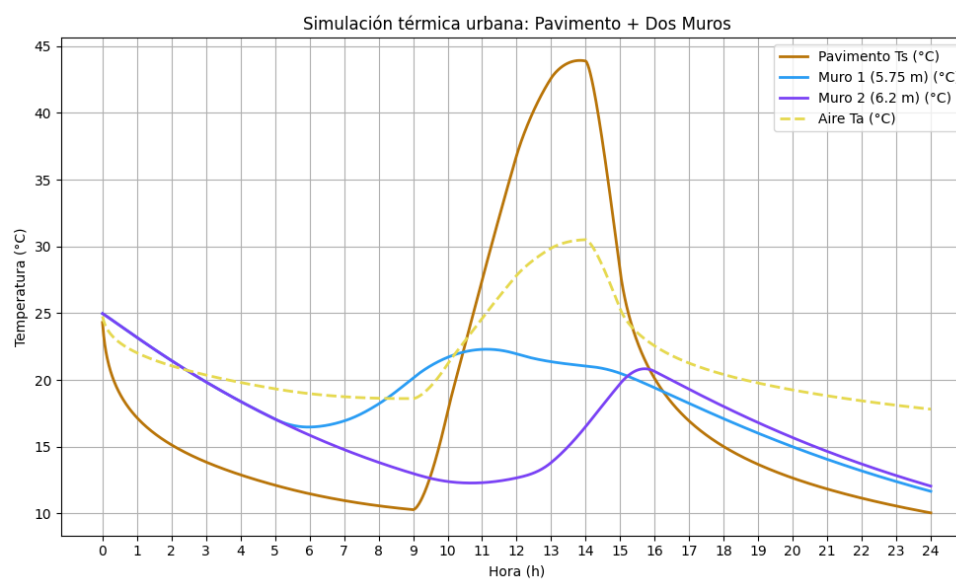


Figura 73
Calle Ayacucho con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.

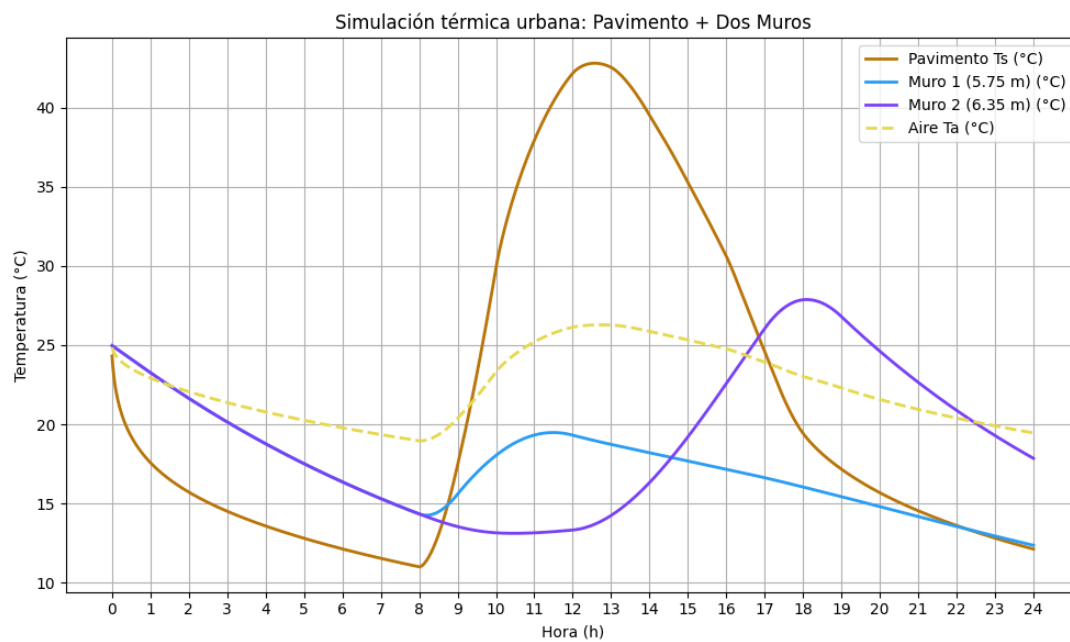


Figura 74
Calle Callao con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.

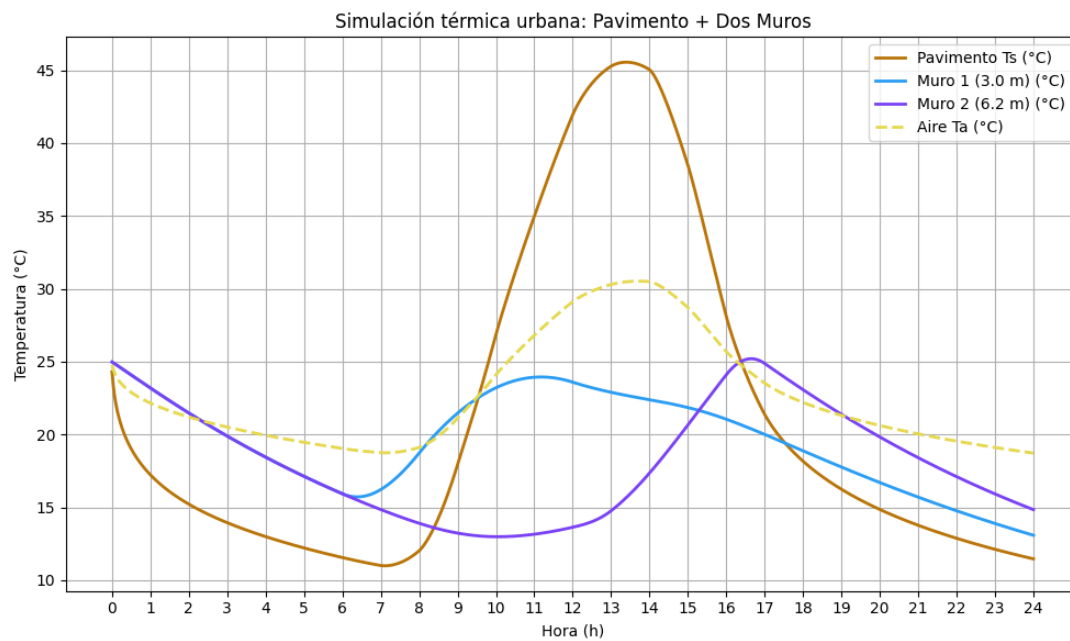


Figura 75
Calle Cusco con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.

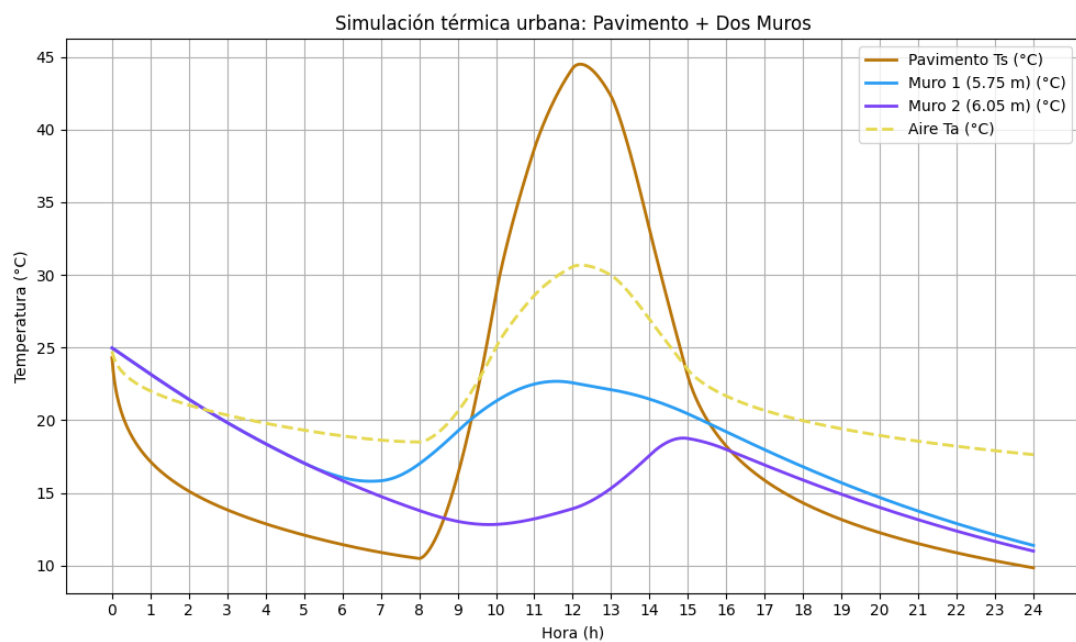


Figura 76
Calle Junín con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.

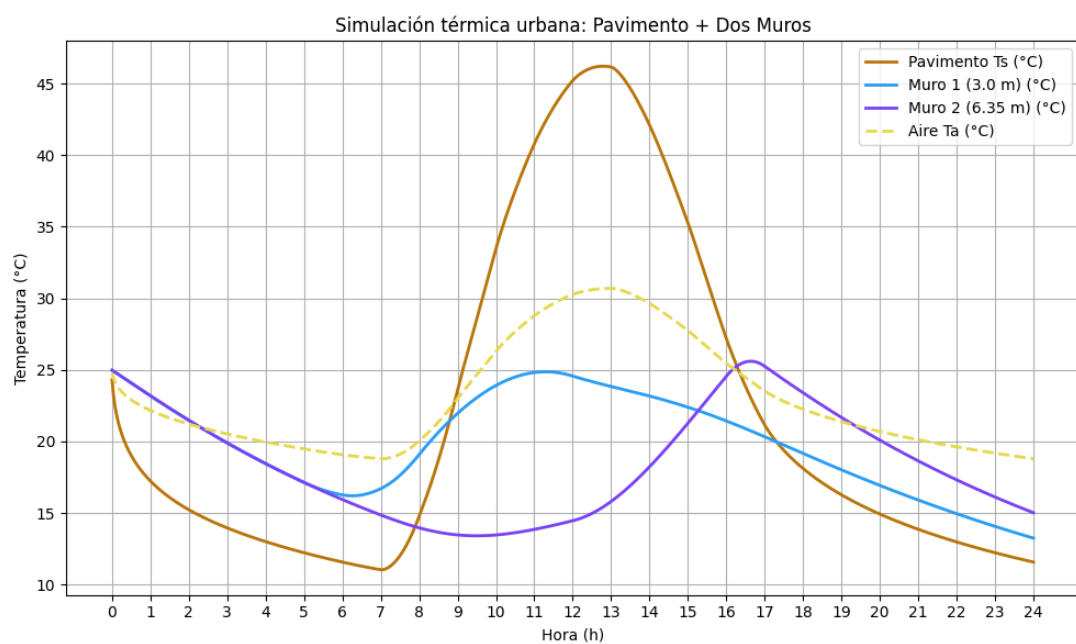


Figura 77
Calle Libertad con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.

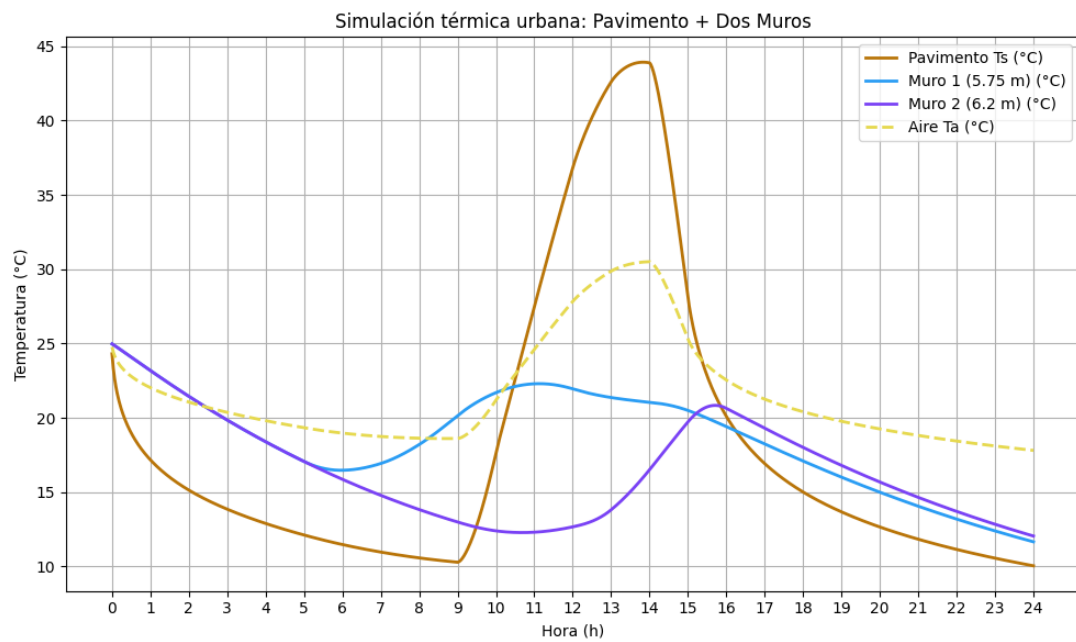


Figura 78
Calle Lima con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.

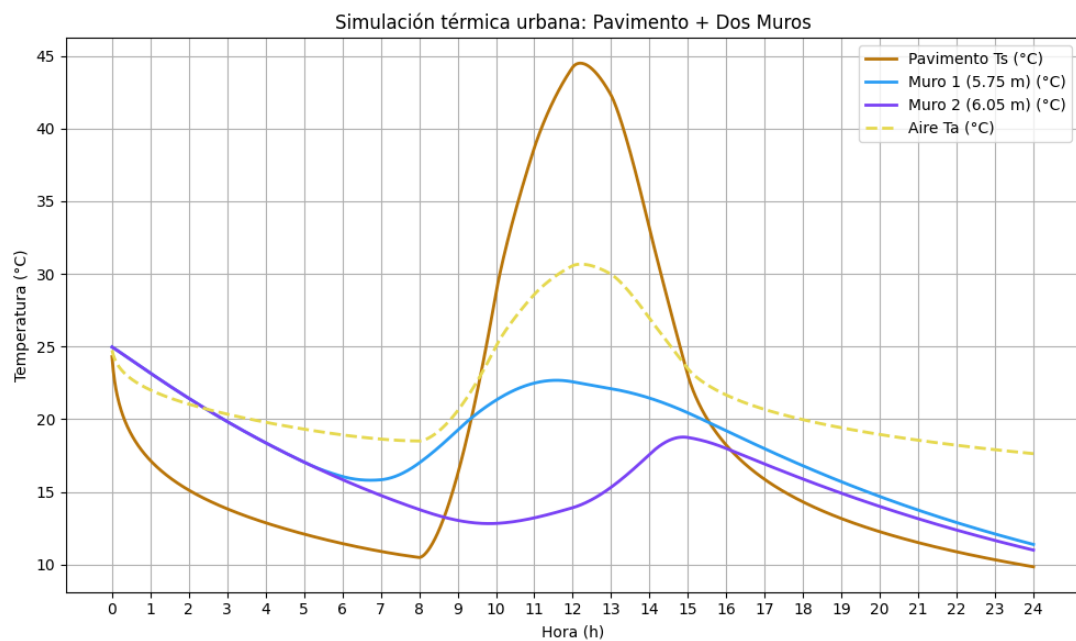


Figura 79
Calle Moquegua con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.

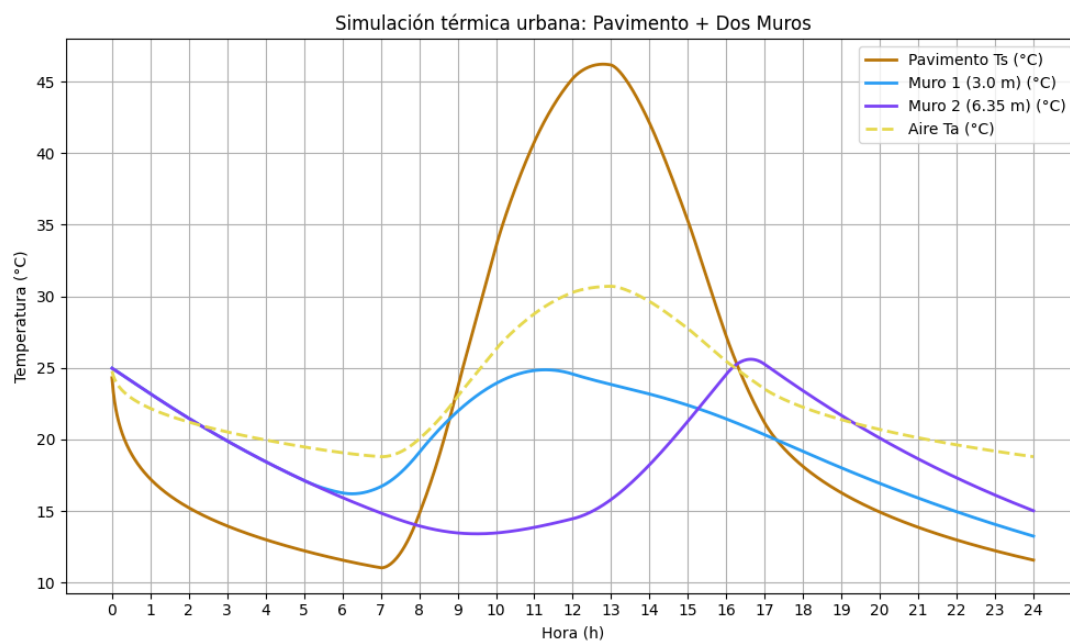


Figura 80
Calle Piura con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.

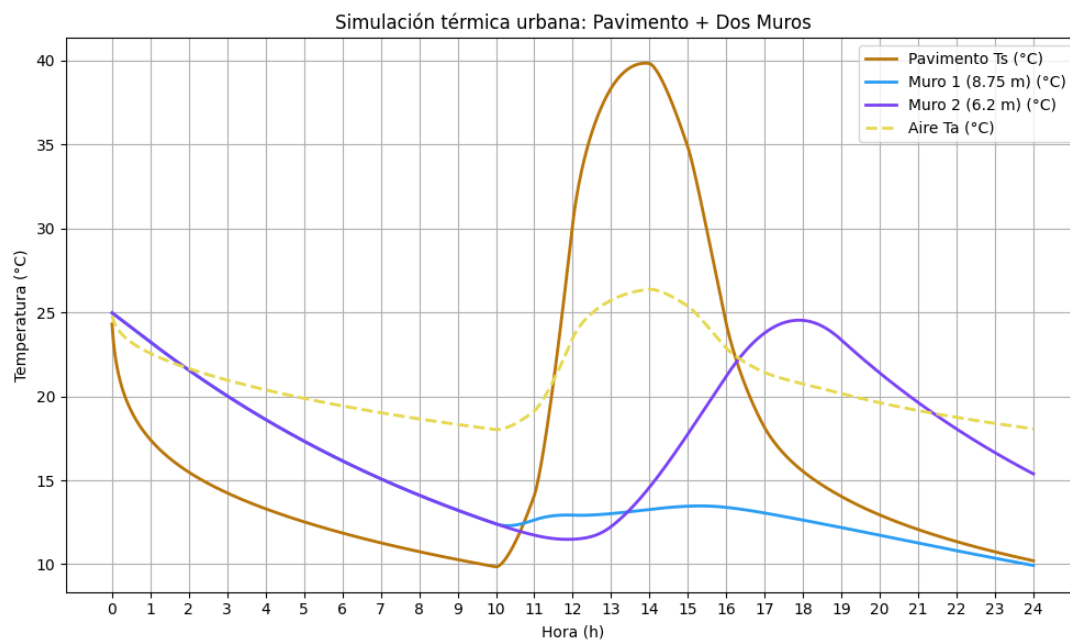


Figura 81
Calle Tacna con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.

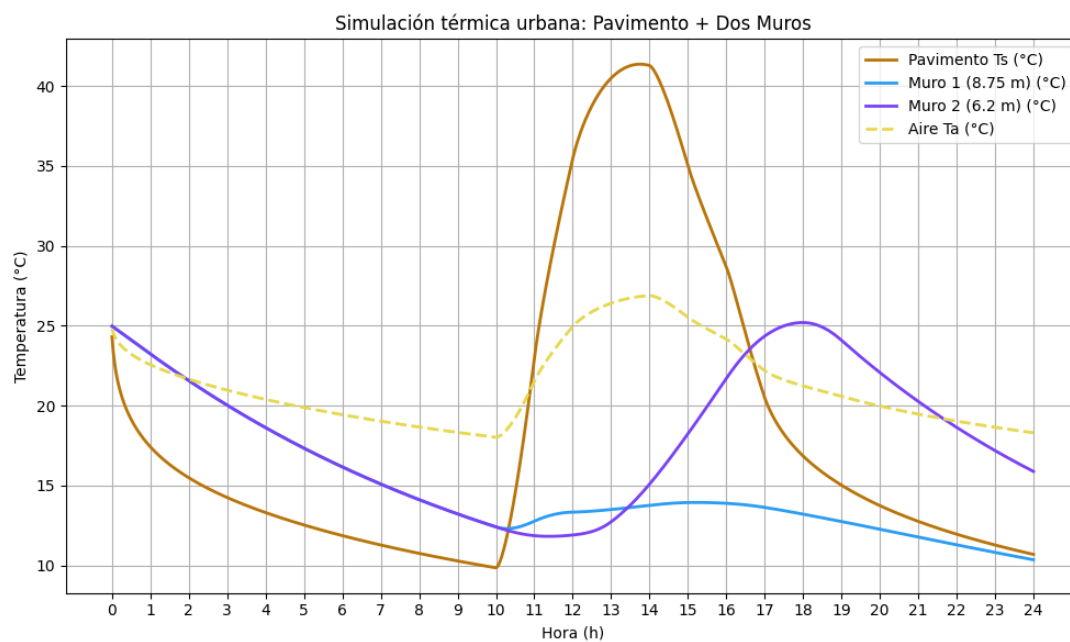


Figura 82
Calle Tarapacá con 40% cobertura vegetal en calzada y 25% en fachadas.

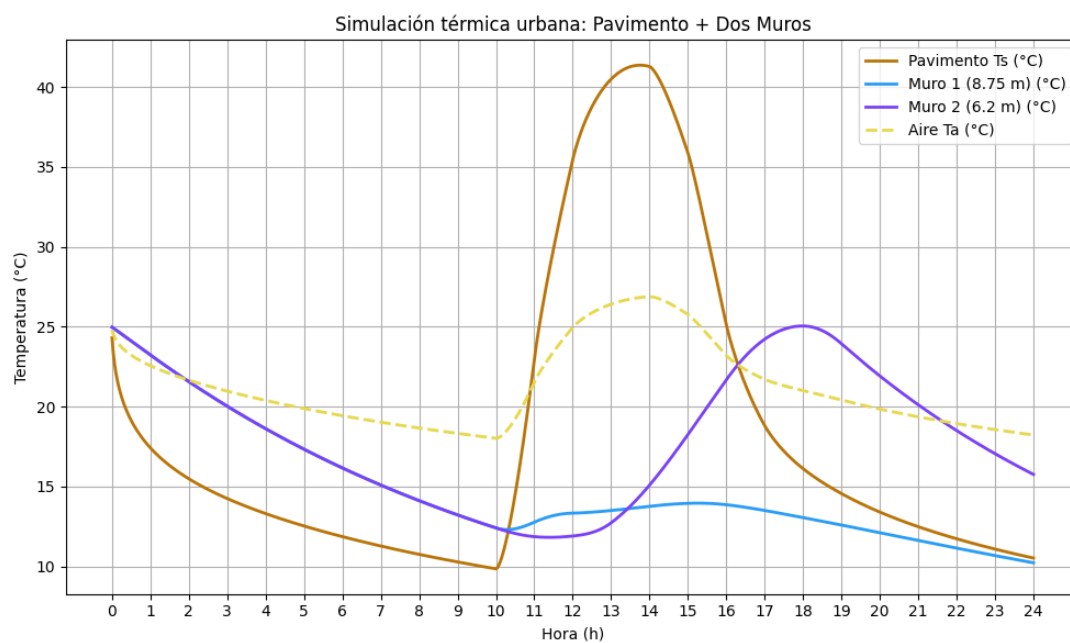


Figura 83
Consolidado de temperatura por calles

Calle	Sin vegetación	Con vegetación 40% calzada	Con vegetación 40% calzada + 25% fachadas	Reducción total
Calle Lima	37.30 °C	31.95 °C	30.67 °C	-6.63 °C
Calle Moquegua	37.32 °C	32.21 °C	30.70 °C	-6.62 °C
Calle Cuzco	37.30 °C	31.95 °C	30.67 °C	-6.63 °C
Calle Tacna	33.17 °C	28.98 °C	26.88 °C	-6.29 °C
Calle Ancash	37.33 °C	31.88 °C	30.50 °C	-6.83 °C
Calle Ayacucho	31.97 °C	28.68 °C	26.28 °C	-5.69 °C
Calle Junín	37.32 °C	32.21 °C	30.70 °C	-6.62 °C
Calle Piura	32.64 °C	28.47 °C	26.38 °C	-6.26 °C
Calle Libertad	37.33 °C	31.88 °C	30.50 °C	-6.83 °C
Calle Arequipa	37.33 °C	31.88 °C	30.50 °C	-6.83 °C
Calle Callao	37.24 °C	32.05 °C	30.52 °C	-6.72 °C
Calle Tarapacá	33.17 °C	28.98 °C	26.88 °C	-6.29 °C

4.3.2 Análisis técnico comparativo de la temperatura ambiente

Los cuadros comparados entre la sección vial actual y la sección vial con un 40% de cobertura vegetal + 25% de cobertura vegetal en fachadas de ambos lados. Los resultados evidencian cambios térmicos significativos en todos los componentes del cañón urbano: pavimento, muros y aire. La intervención vegetal genera una disminución notable de la carga térmica superficial y atmosférica.

1. Comportamiento térmico del pavimento

Condición actual

- Pavimento extremadamente caliente: **54°C – 61°C**.
- Calles Moquegua, Junín y Callao sobrepasan los **60°C**, contribuyendo fuertemente a la isla de calor.

Escenario con vegetación

- Pavimento se reduce a **39°C – 47°C**.
- Reducción térmica promedio: **≈ 13°C a 15°C**.

Interpretación técnica

La sombra arbórea y la reducción de superficies expuestas disminuyen drásticamente la absorción de radiación. El pavimento deja de comportarse como una fuente intensa de calor sensible hacia el aire circundante.

2. Comportamiento térmico de los muros (fachadas)

Tabla 17
Muro 1

Actual	Vegetado	Reducción
Entre 27°C y 33°C .	Se estabiliza entre 24.9°C y 30°C .	≈ 2°C a 4°C.

Tabla 18
Muro 2

Actual	Vegetado	Reducción
Entre 29°C y 38°C (especialmente alto en Ayacucho, Ancash y Moquegua).	Entre 24.9°C y 32°C .	≈ 4°C a 6°C.

Los jardines verticales actúan como una capa térmica que:

- Reduce la absorción directa de radiación en fachadas.
- Disminuye la re-emisión de calor hacia la vía.
- Suaviza la acumulación térmica dentro del cañón urbano.

La calle se vuelve **menos “emisiva”** durante la tarde y la noche.

3. Temperatura máxima del aire (Tmax Aire)

El indicador más relevante para el confort térmico.

Condición actual

- Rango: **31.8°C – 37.3°C**.
- Las calles más cálidas: Ancash, Lima, Moquegua, Junín, Cuzco, Libertad, Arequipa y Callao.

Escenario con vegetación

- Rango: **26.28°C – 32.21°C**.
- Las calles más frías: Ayacucho, Piura, Tacna, Tarapacá.

Reducción promedio:

- **≈ 5°C a 6°C.**

La combinación de sombra + evapotranspiración + reducción de superficies calientes provoca un enfriamiento atmosférico sostenido. Se reduce la temperatura diurna y se atenúa la acumulación nocturna de calor.

4.3.3 Síntesis comparativa global

Tabla 19
Síntesis comparativa global

Componente	Condición actual	Con vegetación	Reducción
Pavimento	54–61°C	39–47°C	–13°C a –15°C
Muro 1	27–33°C	24.9–30°C	–2°C a –4°C
Muro 2	29–38°C	24.9–32°C	–4°C a –6°C
Aire	31.8–37.3°C	26.3–32.2°C	–5°C a –6°C

4.4. Conclusiones

A partir del análisis de las islas de calor urbano realizado mediante el método de cañón urbano en doce (12) tramos representativos del Cercado de Moquegua, se identificaron las condiciones morfológicas y térmicas que favorecen la acumulación de calor en el espacio urbano. Los resultados permitieron seleccionar como tramo piloto de intervención la calle Ancash, entre las calles Moquegua y Lima, debido a su elevada temperatura superficial, alta concentración de actividades comerciales, importante afluencia peatonal por su proximidad al Palacio Municipal y significativo flujo vehicular. En este contexto, se formulan las siguientes conclusiones, las cuales responden a los objetivos planteados y permiten determinar el impacto de la cobertura vegetal en la mitigación de las islas de calor urbano:

1.- Se identificó la presencia de islas de calor urbano en el Cercado de Moquegua mediante la aplicación del método de cañón urbano en doce (12) tramos viales. Los resultados evidenciaron que las calles con cañones urbanos más profundos ($H/W > 1.10$), como Ancash, Lima, Libertad, Arequipa, Piura, Tacna y Tarapacá, registraron las mayores temperaturas superficiales y ambientales, alcanzando valores superiores a 59 °C en pavimentos y 37 °C en la temperatura del aire, confirmando la influencia de la morfología urbana en la intensidad de las islas de calor urbano.

2.- Se determinó que la radiación solar incidente sobre superficies urbanas expuestas influye significativamente en el comportamiento térmico del corredor vial analizado. La escasa cobertura vegetal y la predominancia de superficies impermeables favorecen la absorción y acumulación de calor, generando temperaturas superficiales de hasta 61 °C en pavimentos y contribuyendo al incremento de la temperatura del aire y al fortalecimiento del efecto de isla de calor urbano.

3.- Se determinó que la implementación de una propuesta basada en un 40 % de cobertura vegetal en la sección vial y un 25 % de vegetación vertical en fachadas constituye una estrategia efectiva para la mitigación de las islas de calor urbano. La aplicación de esta propuesta en el tramo piloto de la calle Ancash, entre las calles Moquegua y Lima, permitió evidenciar reducciones de entre 13 °C y 15 °C en la temperatura del pavimento, entre 2 °C y 6 °C en las fachadas y entre 5 °C y 6 °C en la temperatura del aire, demostrando que el incremento de la cobertura vegetal mejora el microclima urbano, incrementa el confort térmico y fortalece la resiliencia urbana frente a los efectos del cambio climático.

4.5 Renders

Figura 84
Render 1



Figura 85
Render 2



Figura 86
Render 3



Figura 87
Render 4



Figura 88
Render 5



Figura 89
Render 6



Figura 90
Render 7



Recomendaciones

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran la eficacia de incrementar la cobertura vegetal en las secciones viales y en las fachadas mediante jardines verticales para mitigar la temperatura superficial y ambiental en contextos urbanos. Las variaciones registradas a través del programa utilizado para medir el comportamiento térmico —herramienta fundamental en este estudio— permiten formular las siguientes recomendaciones:

1. Incorporar sistemáticamente el programa de medición térmica en futuros estudios urbanos

El programa empleado ha mostrado una alta capacidad para detectar con precisión variaciones térmicas en pavimento, fachadas y aire. Su uso continuado permitirá construir líneas base confiables, comparar escenarios urbanos y evaluar intervenciones verdes antes de ejecutarlas, reduciendo incertidumbre en la toma de decisiones.

2. Priorizar intervenciones con cobertura vegetal en corredores urbanos críticos

Las simulaciones realizadas revelan reducciones térmicas de hasta **13–15°C en pavimentos y 5–6°C en aire**, lo que respalda la necesidad de impulsar:

- Arborización con criterios microclimáticos (sombra proyectada, distancia al pavimento).
- Jardines lineales en bermas y parterres.
- Jardines verticales en fachadas expuestas al asoleamiento.

Estas soluciones deben priorizarse en sectores con alta radiación y tráfico peatonal.

3. Integrar criterios climáticos en el diseño de secciones viales

Las proyecciones del programa confirman que incluso ajustes moderados en la vegetación (40% en calzada y 25% en fachada) generan mejoras sustanciales en confort térmico. Por ello, se recomienda que los gobiernos locales incorporen estándares mínimos de cobertura vegetal en:

- Remodelaciones de avenidas.
- Proyectos de movilidad sostenible.
- Espacios públicos sometidos a estrés térmico.

4. Implementar monitoreo continuo de temperatura urbana

El programa ha demostrado ser una herramienta estratégica no solo para la simulación, sino también para la vigilancia microclimática. Se sugiere establecer un sistema municipal de monitoreo térmico que permita:

- Actualizar datos en tiempo real.
- Identificar puntos críticos de calor.
- Medir la eficacia de futuras intervenciones verdes.

5. Utilizar los resultados como soporte técnico para políticas de mitigación climática

Las variaciones registradas son consistentes y significativas. Por ello, los resultados pueden fundamentar políticas como:

- Ordenanzas de arborización urbana.
- Incentivos para jardines verticales y techos verdes.
- Regulaciones para pavimentos fríos o de baja absorción térmica.
- Estrategias de adaptación al cambio climático en zonas urbanas.

6. Replicar el método de estudio en otras ciudades con clima similar

La claridad de los datos obtenidos y el desempeño del programa de medición permiten replicar este modelo de investigación en otras zonas urbanas que enfrentan problemas de isla de calor. Esto contribuirá a generar un mapa comparativo regional que fortalezca la planificación climática a nivel macro.

Los resultados de la investigación no solo evidencian la relevancia de la vegetación urbana en la reducción de temperaturas, sino que también destacan el valor del programa de medición utilizado. Su precisión, capacidad comparativa y utilidad predictiva lo convierten en una herramienta indispensable para la planificación urbana climáticamente sensible. La adopción de estas recomendaciones permitirá avanzar hacia ciudades más habitables, resilientes y ambientalmente equilibradas.

Referencias Bibliográficas

- Candanedo, Martín y Villarreal Danna (2020). En: *“Efecto de las islas de calor urbano en las principales vías de la Ciudad de Panamá”*. Revista de I+D Tecnológico. Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá.
- Castrejón, Nayeli y González, Marcos (2022). En: *“Optimización morfológica de cañones urbanos con diseño evolutivo para mitigar la isla de calor urbano”*. Artículo de la Revista Vivienda y Comunidades Sustentables. Universidad de Guadalajara. México.
- CATIE – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (2019). En: *“Islas de Calor, Impactos y Respuestas – El Caso del Cantón de Curridabat”*. Municipalidad de Curridabat. Costa Rica
- Cedeño, Héctor y Paz, Alberto (2016). En: *“Una aproximación al Estudio del Diseño Urbano y su implicación para el Desarrollo Local”*. Revista Científica Dominio de las Ciencias. Universidad Laica Eloy Alfaro. Manta. Ecuador.
- CEPAL – Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2018). En: *“Potenciar la resiliencia de las ciudades y sus territorios de pertenencia en el marco de los acuerdos sobre cambio climático y de la Nueva Agenda Urbana”*. Impreso en Santiago de Chile.
- García Haro, Alan (2017). En: *“Diseño del Espacio Público e Isla de Calor Urbano: Una aproximación desde el estudio de las características Micro Climáticas de las Ramblas de Barcelona”*. Tesis de Master en Estudios Avanzados de Arquitectura. Universidad Politécnica de Cataluña UPC. España.
- García, Laura y Nieves, Jaime (2024). En: *“Efectos de la isla de calor urbana – Enfoque integrado para la adaptación climática”*. CONAMA – Congreso Nacional de Medio Ambiente. España.
- Gobierno Regional de Moquegua (2022). En: *“Plan de Desarrollo Regional Concertado Moquegua 2032”*. CEPLAN. Gobierno del Perú. Moquegua.
- Grajeda, Ruth y Velásquez, Carlos (2023). En: *“La importancia de la Isla de Calor Urbano como un indicador más a tomar en cuenta en los procesos de Planeación Urbana en las ciudades de México”*. Artículo Revista e-RUA. Volumen 15. Num. 3. Universidad Veracruzana. México.
- Hernández, Agustín (2013). En: *“Manual de Diseño Bioclimático Urbano Manual de recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas”*. Instituto Politécnico de Bragança. Portugal.
- Hernández Sampieri, Roberto (2014). En *“Metodología de la Investigación”*. 6ta Edición por McGraw – Hill. Interamericana Editores. México.

- Manzanilla, Ulises (2022). En: *“Islas de calor urbanas: un fenómeno poco estudiado en México”*. Centro de Investigación Científica de Yucatán y CONACYT. México.
- Mayorga, Ana Paula (2023). En: *“Propuesta de Lineamientos para mitigar las Islas de Calor Urbano en la ciudad de Ambato (p1-pu01) con un enfoque en el Espacio Público, para mejorar la calidad de vida”*. Carrera de Arquitectura. Facultad de Arquitectura y Construcción. Universidad Indoamérica. Ecuador.
- Moya, Daniel (2020). En: *“Propuesta de reducción del efecto isla de calor urbano superficial (ICUS) en la ciudad de Curicó”*. Tesis de Grado. Carrera de Geografía. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Chile. Chile.
- Municipalidad Metropolitana de Lima – MUNILIMA (2019). En: *“Evaluación Estratégica de Medidas para reducir las Islas de Calor Urbano en la provincia de Lima”*. En Alianza con C 40 CITIES. Lima. Perú.
- Municipalidad Provincial de Mariscal Nieto (2016). En: *“Plan de Desarrollo Urbano Sostenible Moquegua – Samegua 2016 – 2026”*. Gobierno Peruano. Perú.
- Proyecto RESCLIMA (2020). En: *“Diseñando Estrategias para la Resiliencia Climática en Ciudades: Informe de Políticas”*. Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL. Guayaquil. Ecuador.
- SENAMHI – Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía (2022). En: *“Estudio de Determinación de la Intensidad de Islas de Calor Urbana en la provincia de Lima”*. Convenio de Cooperación Específico interinstitucional entre SENAMHI y la Municipalidad Metropolitana de Lima. Perú.
- Yanavilca Anticona, Omar Cristhian (2021). En: *“Islas de Calor Urbano y su incidencia en el Confort Térmico de Espacios Públicos del Sector El Progreso – Huanchaco 2018”*. Programa Académico de Doctorado en Arquitectura. Universidad Cesar Vallejo. Perú.
- Yupanqui, Eduardo y Yupanqui, André (2024). En: *“Mitigación de Islas de Calor Urbanas a través de la infraestructura verde – Modelos de simulación y eficiencia en el enfriamiento urbano”*. XXIII Conferencia Internacional Multiconferencia LACCEI sobre Ingeniería, Educación y Tecnología. México.