

**Estrategias de mitigación pasiva para reducir el impacto de las islas de calor urbanas:  
estudio de caso en la conexión vial norte-sur de las calles 18 y 19 en Pasto, Nariño**

**Eduard Fernando León Getial**

**Programa de Arquitectura, Facultad de Arquitectura y Bellas Artes, Universidad CESMAG**

**Nota del autor**

El presente trabajo de grado tiene como propósito cumplir el requisito para optar al título de pregrado como arquitecto en la Universidad CESMAG. Esta obra no puede ser reproducida totalmente o parcialmente por ningún medio mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, digital, fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito de la Universidad CESMAG o su autor.

La correspondencia referente a este trabajo de grado debe dirigirse al Programa de Arquitectura de la Universidad CESMAG. Correo electrónico: [arquitectura@unicesmag.edu.co](mailto:arquitectura@unicesmag.edu.co)

**Estrategias de mitigación pasiva para reducir el impacto de las islas de calor urbanas: estudio de caso en la conexión vial norte-sur de las calles 18 y 19 en Pasto, Nariño**

**Eduard Fernando León Getial**

**Programa de Arquitectura, Facultad de Arquitectura y Bellas Artes, Universidad CESMAG**

**Asesora: Mg. Ana María González Bastidas**

**Febrero de 2025**

El pensamiento que se expresa  
en esta obra es de exclusiva  
responsabilidad del autor  
y no compromete la ideología  
de la Universidad CESMAG.

## **Dedicatoria**

A Dios por la inmensidad de lo brindado.

## **Agradecimientos**

A la ingeniera Ana María González Bastidas por ser parte esencial desde su posición como docente y asesora de esta investigación. Al arquitecto Mario German Martínez Caicedo, docente encargado del espacio académico Proyecto Final de Carrera- PFC.

## Tabla de Contenido

Introducción	16
Aspectos generales del trabajo de grado	17
Objeto o tema de investigación	17
Contextualización	17
Macrocontexto	18
Microcontexto	18
Problema de investigación	18
Planteamiento del problema	18
Formulación del problema	19
Justificación	19
Objetivos	21
Objetivo general	21
Objetivos específicos	21
Área de investigación	21
Línea de investigación	21
Antecedentes	21
Estado del arte	23
Marco teórico	25
Métodos de mediciones de factores ambientales	25
Métodos de análisis de factores ambientales	26
Relación entre materiales- vegetación e islas de calor	27
Modelos digitales de simulaciones ambientales	27
Estrategias de mitigación de islas de calor	28
Carta bioclimática Olgyay	29
Variables de la investigación	32
Hipótesis de investigación (solo en la investigación cuantitativa)	33
Metodología	33
Paradigma	33
Enfoque	34
Método	34
Instrumentos de recolección de la información	34
Tipo de investigación	34

Diseño de investigación	35
Técnicas de recolección de la información	35
Procesamiento de la información	35
Población	36
Muestra	36
Caracterización ambiental del fenómeno de islas de calor urbano en la conexión norte-sur de Pasto, Nariño	37
Análisis de las Condiciones Ambientales durante una Década: Estación Meteorológica universidad Cesmag- Sede Centro	37
Análisis comparativo de condiciones ambientales: red de estaciones meteorológicas vs.estación de la Universidad CESMAG-sede centro	43
Protocolo de captura de medición de factores ambientales en campo, sobre las calles 18 y 19 de Pasto	45
Registro de temperatura y humedad relativa obtenidas	46
Análisis de la confortabilidad de los usuarios en el sector de estudio a partir de la comparación de variables ambientales y urbanísticas	50
Análisis de correlación entre variables ambientales mediante un mapa de calor	55
Definir estrategias de mitigación pasiva respaldadas por simulaciones ambientales, con el objetivo de minimizar los efectos que favorecen la aparición de islas de calor urbano.	65
Eficiencia de la altura de la copa en arborización urbana	66
Eficacia de la arborización en proyección de sombra versus densidad arbórea	68
Eficacia de la arborización en proyección de sombra versus distancia óptima	69
Eficacia de la arborización en proyección de sombra versus relación entre cobertura vegetal y reducción de temperatura	70
Uso de arborización según parámetros de eficiencia sobre espacios urbanos: Matriz de relaciones por función, entre dimensiones arbóreas por follaje y las distintas secciones urbanas	71
Eficiencia a través del uso de arborización y corrientes de aire: Uso sobre área urbana de estudio, secciones de simulaciones a través de Flowillustrator	72

Eficiencia a través de morfología de alturas: Proyección de sombra por edificaciones establecida a través de su altura y su incidencia sobre los espacios urbanos	74
Optimización volumétrica para proyección de sombra y regulación de incidencia en edificaciones Urbanas.	75
Eficiencia a través del uso adecuado de materiales en espacios urbanos: relación entre reducción de temperatura y cambio de materiales permeables con alto porcentaje de albedo y baja inercia térmica	76
Análisis de Eficiencia en el Sector 1: Estudio de Caso sobre Elementos de Mitigación Pasiva	78
Análisis de Eficiencia en el Sector 2: Estudio de Caso sobre Elementos de Mitigación Pasiva	80
Análisis de Eficiencia en el Sector 3: Estudio de Caso sobre Elementos de Mitigación Pasiva	82
Análisis de Eficiencia en el Sector 4: Estudio de Caso sobre Elementos de Mitigación Pasiva	85
Análisis de Eficiencia en el Sector 5: Estudio de Caso sobre Elementos de Mitigación Pasiva	87
Análisis de Eficiencia en el Sector 6: Estudio de Caso sobre Elementos de Mitigación Pasiva	89
Análisis de Eficiencia Holística: Propuesta de Reducción de Islas de Calor en la Conexión Norte-Sur a lo largo de las Calles 18 y 19 de Pasto	91
Conclusiones	95
Recomendaciones	97
Referencias	98
Anexos	100



## Lista de figuras

Figura 1. Sector estudiando, conexión Norte-Sur Pasto entre calles 18 y 19, entre las carreras 19 y 31c	17
Figura 2. Mapa mental de las variaciones de la percepción del ambiente térmico.	30
Figura 3. Diagrama de Olgyay	31
Figura 4. Temperatura máxima, promedio y mínima de Pasto en el periodo de una década del 2013-2023	38
Figura 5. Temperatura, gráfico de dispersión y línea de tendencia de la variación a través de la década	39
Figura 6. Humedad relativa máxima, promedio y mínima de Pasto en el periodo de una década del 2013-2023	39
Figura 7. Humedad relativa, gráfico de dispersión y línea de tendencia de la variación a través de la década	40
Figura 8. Gráfico de tendencia sobre variación de velocidad promedio de viento anual	41
Figura 9. Grafica de relación tendencial de radiación solar en una década	42
Figura 10. Red estaciones meteorológicas para comparación de datos ambientales	43
Figura 11. Registro de temperatura promedio por parte de la red de estaciones meteorológicas rurales vs sector urbano en Pasto	44
Figura 12. Recolección de datos de temperatura ambiental sobre la conexión norte-sur, bajo protocolo de medición	48
Figura 13. Recolección de datos de humedad relativa ambiental sobre la conexión norte-sur, bajo protocolo de medición	49
Figura 14. Plano Nolli de las calle 18 y 19	50
Figura 15. Porcentaje de Áreas verdes y cobertura vegetal sobre sector de estudio	51
Figura 16. Diferencia topográfica entre pico y valle, en la conexión norte-sur	53
Figura 17. Mapa de calor, registro de áreas de mayor afectación de temperatura	54
Figura 18. Mapa de calor, registro de áreas de mayor afectación de humedad relativa	54
Figura 19. Mapa de calor de temperatura elevada y humedad relativa baja	55
Figura 20. Mapa de calor de temperatura baja y humedad relativa elevada	56
Figura 21. Campana de Gauss para determinar porcentaje de área por fuera del área de confort para la temperatura	58

Figura 22. Rosa de los vientos, muestra la dirección de viento predominante en el periodo de agosto y septiembre	60
Figura 23. Simulaciones corrientes de aire, siguiendo la geometría urbana, bajo túnel de viento (CFD)	61
Figura 24. Representación de sombra por altura de edificación y su dirección cardinal	62
Figura 25. Composición de superficies y materiales prevalentes sobre el total del sector	64
Figura 26. Diagrama explicativo, diferencias entre unidades arbóreas según la correlación de sus distancias	67
Figura 27. Eficacia de cobertura vegetal sobre proyección de sombra vs altura de tronco	67
Figura 28. Eficacia de cobertura vegetal sobre proyección de sombra vs altura de tronco	68
Figura 29. Eficacia de distancia entre posición de arborización	69
Figura 30. Eficacia por uso de arborización y tipo de proyección de sombra según el tipo de vulnerabilidad	70
Figura 31. simulaciones de corrientes de viento sobre geometría urbana y propuesta de arborización	73
Figura 32. Relación altura edificación y proyección de sombra eficiente sobre espacios urbanos	74
Figura 33. Relación volumétrica de edificios y su incidencia solar	75
Figura 34. Resultado del modelo volumétrico más eficiente en proyección de sombra sobre sí mismo	76
Figura 35. Sectores a intervenir, clasificados según su tipo de vulnerabilidad y su inclusión o exclusión dentro del Plan Especial de Manejo y Protección (PEMP).	77
Figura 36. Reducción de temperatura en sector 1, se muestra estado actual y la reducción por propuesta a través de estrategias de mitigación pasivas	80
Figura 37. Aumento de humedad relativa a través de la reducción de temperatura en sector 1, se muestra estado actual y aumento, a través de estrategias de mitigación pasivas	80
Figura 38. Reducción de temperatura en sector 2, se muestra estado actual y la reducción por propuesta a través de estrategias de mitigación pasivas	82

Figura 39. Aumento de humedad relativa a través de la reducción de temperatura en sector 2, se muestra estado actual y aumento, a través de estrategias de mitigación pasivas	82
Figura 40. Reducción de temperatura en sector 3, se muestra estado actual y la reducción por propuesta a través de estrategias de mitigación pasivas	84
Figura 41. Aumento de humedad relativa a través de la reducción de temperatura en sector 3, se muestra estado actual y aumento, a través de estrategias de mitigación pasivas	84
Figura 42. Reducción de temperatura en sector 4, se muestra estado actual y la reducción por propuesta a través de estrategias de mitigación pasivas	86
Figura 43. Aumento de humedad relativa a través de la reducción de temperatura en sector 4, se muestra estado actual y aumento, a través de estrategias de mitigación pasivas	86
Figura 44. Reducción de temperatura en sector 5, se muestra estado actual y la reducción por propuesta a través de estrategias de mitigación pasivas	88
Figura 45. Aumento de humedad relativa a través de la reducción de temperatura en sector 5, se muestra estado actual y aumento, estrategias de mitigación p.	88
Figura 46. Aumento de humedad relativa a través de la reducción de temperatura en sector 6, se muestra estado actual y aumento, estrategias de mitigación p.	90
Figura 47. Aumento de humedad relativa a través de la reducción de temperatura en sector 6, se muestra estado actual y aumento, a través de estrategias de mitigación pasivas	90
Figura 48. Relación de temperatura medida en campo, y reducción a través de estrategias de mitigación pasiva, resultados totalizados	92
Figura 49. Relación de humedad Relativa medida en campo, y aumento a través de estrategias de mitigación pasiva, resultados totalizados	93
Figura 50. Imaginario de intervención pasiva: corredor norte-sur	94

## Lista de tablas

Tabla 1. Percepción del ambiente térmico bajo documentación de distintos autores	29
Tabla 2. Registro de mediciones en campo de temperatura y humedad relativa recolectadas a través del protocolo de mediciones	46
Tabla 3. Porcentaje de distribución de áreas entre llenos y vacíos de estudio	50
Tabla 4. Cuantificación de Áreas verdes y cobertura vegetal sobre sector de estudio	52
Tabla 5. Estrategias planteadas por sector según diagrama de Olgyay	57
Tabla 6. Sectores y su probabilidad de Exceder la Temperatura en el Rango Fuera del Confort según distribución normal	59
Tabla 7. Relación sombra existente en sectores urbanos con el azimut máximo, provocado por la altura de edificaciones	63
Tabla 8. Composición de superficies y materiales prevalentes sobre el total del sector de estudio, área, porcentaje e inercia térmica	64
Tabla 9. Rangos de temperatura mostrado en rangos de color, de vulnerabilidad baja, media y alta	65
Tabla 10. Matriz de relaciones por función, entre dimensiones arbóreas por follaje y las distintas secciones urbanas	71
Tabla 11. Matriz de relaciones por función, entre dimensiones por diámetro y sus áreas y las distintas secciones urbanas	72
Tabla 12. Materiales propuestos para la reducción de temperatura	78

## Lista de anexos

Anexo A. Diario de campo de recolección de variables ambientales del 28/08/23- 1/09/23	100
Anexo B. Cálculo de eficiencia de sombra proyecta por altura de árboles	101
Anexo C. Cálculo de eficiencia por densidad arbórea según sus dimensiones	101
Anexo D. Cálculo de eficiencia por trayectoria lineal y dimensiones de árboles	102
Anexo E. Cálculo de eficiencia según el tipo de vulnerabilidad presente	102
Anexo F. Cálculo de eficiencia de sombra según altura del edificio	103
Anexo G. Intervención sector 1, muestra cuantificada de intervenciones pasivas	104
Anexo H. Intervención sector 2, muestra cuantificada de intervenciones pasivas	105
Anexo I. Intervención sector 3, muestra cuantificada de intervenciones pasivas	106
Anexo J. Intervención sector 4, muestra cuantificada de intervenciones pasivas	107
Anexo K. Intervención sector 5, muestra cuantificada de intervenciones pasivas	108
Anexo L. Intervención sector 6, muestra cuantificada de intervenciones pasivas	109
Anexo M. Dashboard para analizar variaciones en estrategias de mitigación según el tipo de vulnerabilidad	110

## Resumen

Esta investigación se enfoca en el fenómeno de las islas de calor urbanas con el propósito de desarrollar estrategias de mitigación pasivas para reducir su impacto en la conexión vial de las calles 18 y 19 sentido norte-sur de Pasto. Este estudio es parte de una investigación urbano-ambiental que sigue un proceso metodológico basado en la recolección de datos, análisis estadístico y propuestas corroboradas a través de simulaciones digitales.

Se emplearon datos relacionados con temperatura, humedad relativa y velocidad del viento de la estación meteorológica de la Universidad CESMAG para proporcionar una visión del comportamiento meteorológico de Pasto en el sector de referencia. De modo comparativo, se determinó la diferencia entre las variables ubicadas en dicha estación y estaciones cercanas a la ciudad. Además, se llevó a cabo un protocolo de mediciones en campo utilizando un termo higrómetro UNI-T (333BT) para registrar la información en un diario de campo.

Posteriormente, se analizó la información recopilada y se identificaron áreas de mayor vulnerabilidad de los microclimas mediante mapas de calor y simulaciones. La investigación se apoyó en la revisión de fuentes secundarias, cálculos estadísticos y análisis de factores antropogénicos que inciden en el confort de los espacios urbanos. Apoyada en SketchUp, RHINO y GRASSHOPER a través de su extensión LADYBUG, esta propuesta define las intervenciones urbanísticas que mejoran el entorno, relacionadas con la densidad de edificaciones, morfología basada en geometría y altura, cubiertas y materiales prevalentes y presencia de cobertura vegetal.

**Palabras clave:** Islas de calor, confort térmico, intervenciones urbanísticas, estrategias pasivas, mitigación.

## **Abstract**

This research focuses on the phenomenon of urban heat islands with the purpose of developing passive mitigation strategies to reduce their impact on the road connection of streets 18 and 19 in the north-south direction of Pasto. This study is part of an urban-environmental research that follows a methodological process based on data collection, statistical analysis and proposals corroborated through digital simulations.

Data related to temperature, relative humidity and wind speed from the CESMAG University meteorological station were used to provide a vision of the meteorological behavior of Pasto in the reference sector. In a comparative way, the difference between the variables located in said station and stations near the city was determined. In addition, a field measurement protocol was carried out using a UNI-T thermohygrometer (333BT) to record the information in a field diary.

Subsequently, the information collected was analyzed and areas of greater vulnerability of microclimates were identified through heat maps and simulations. The research was supported by the review of secondary sources, statistical calculations and analysis of anthropogenic factors that affect the comfort of urban spaces. Supported by SketchUp, RHINO and GRASSHOPER through its LADYBUG extension, this proposal defines the urban interventions that improve the environment, related to the density of buildings, morphology based on geometry and height, prevalent roofs and materials, and the presence of vegetation cover.

**Keywords:** Heat islands, thermal comfort, urban interventions, passive strategies, mitigation.

## Introducción

La arquitectura y el urbanismo contemporáneo consideran que el estudio ambiental es crucial para mejorar la calidad de vida urbana de la ciudad. Las ciudades son responsables de una gran parte de las emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático, de no contemplarse la prevalencia de fenómenos antropogénicos, la funcionalidad de la ciudad, como sistema, quedaría limitada. Por tanto, las soluciones deben orientarse a contrarrestar la generación de impactos que afecten la calidad de vida de las personas.

Una de las consecuencias más preocupantes en la actualidad, se centra en la aparición de islas de calor que impiden el disfrute y aprovechamiento del espacio público. Este estudio propone mitigar el impacto de las islas de calor en la conexión vial de las calles 18 y 19 sentido norte-sur de Pasto a través de estrategias pasivas que incluyen la distribución, forma de la arborización, el uso de materiales y la implementación adecuada del diseño urbano. Para lograrlo, inicialmente se llevó a cabo una evaluación detallada de los factores ambientales: temperatura, humedad relativa, a la vez que viento y su afectación directa en el confort de los usuarios y presencia de islas de calor. Posteriormente, se identificó las condiciones que mayoritariamente desencadenan el fenómeno, para finalmente proponer las estrategias pasivas basada en simulaciones ambientales.

En este contexto, se analizaron conjuntamente el componente ambiental y urbanístico que son fundamentales para diseñar espacios urbanos resilientes-ecológicos y mitigar los efectos negativos de las islas de calor en la salud y la calidad de vida.

La investigación se desarrolló en la ciudad de Pasto, específicamente en la conexión norte sur de pasto. El área de estudio abarca 465.232 metros cuadrados delimitados por las calles 18 y 19, entre las carreras 19 y 31c, abarcando una parte del centro histórico y sus mixturas. Esta zona es un nodo principal de comercio y turismo, pero la alta densidad de edificios y el uso indebido de materiales generan impactos en el entorno natural que afectan el uso de los espacios comunes y las interacciones sociales.

El estudio combina mediciones de campo con modelados digitales para obtener información precisa sobre las variaciones de temperatura y humedad en el entorno urbano real a la vez que estimaciones sobre el factor viento. La importancia de esta investigación sienta sus bases en considerarse como un insumo para intervenciones estratégicas pasivas del tramo de estudio que se complementa con el proyecto Vital, proyecto liderado por la administración municipal 2020-2023 y que revitaliza el centro histórico mediante la pacificación.



## Aspectos generales del trabajo de grado

### Objeto o tema de investigación

El objetivo de esta investigación se centra en las estrategias de mitigación pasivas para reducir el impacto de las islas de calor urbanas en la conexión norte-sur de la ciudad de Pasto entre las calles 18 y 19, entre las carreras 19 y 31c. Esto permite comprender cómo las propuestas de diseño urbano contribuyen a mejorar la calidad y el confort de los espacios urbanos utilizados por los peatones en dicha área. El análisis resulta crucial para comprender los problemas ambientales relacionados con el aumento de islas de calor en zonas de alta densidad edificatoria, presencia de edificaciones patrimoniales y mixtura de espacios urbanos.

### Contextualización

La zona escogida comprende las calles 18 y 19, entre las carreras 19 y 31c, con un área de 465.232 metros cuadrados en total. Este sector se destaca como un nodo principal de comercio, turismo y patrimonio. La alta densidad de edificios en comparación con las zonas verdes y la movilidad urbana constante generan impactos sobre el entorno urbano a gran escala, lo que resulta en el desuso de los espacios comunes y la desaparición de interacciones sociales, al igual que una mala gestión energética. El área estudiada se muestra sobre la figura 1.

### Figura 1

*Sector estudiando, conexión Norte-Sur Pasto entre calles 18 y 19, entre las carreras 19 y 31c*



Fuente: Autoría propia.

### **Macro contexto**

La ciudad de Pasto presenta una dualidad intrigante: la combinación de su belleza natural y su rica historia contrasta con los desafíos ambientales que proyectan a las islas de calor como uno de los fenómenos a mitigar. Sin embargo, con una planificación pasiva es posible transformar estos desafíos en oportunidades para crear un entorno urbano más saludable, cómodo y sostenible para las generaciones presentes y futuras. En este escenario se inscribe la investigación.

### **Micro contexto**

La zona de estudio abarca desde la conexión vial norte-sur de Pasto. El área de estudio abarca 465.232 metros cuadrados delimitados por las calles 18 y 19, entre las carreras 19 y 31c. Este lugar se considera un punto nodal de gran importancia alrededor de todo el año, caracterizándose por su alta actividad comercial y social. Las calles que rodean las zonas de investigación complementan estas funciones y generan una mayor demanda en la zona. Ver Figura 1.

### **Problema de investigación**

Las islas de calor urbana es un fenómeno propio de las ciudades donde la temperatura es más elevada y se ve alterada por efectos de absorción solar sobre sus superficies. Así la sensación térmica tiende a aumentar lo que genera estrés y falta de confort en los usuarios. Los usuarios tienden a disminuir los aforos durante la aparición del fenómeno haciendo que los espacios públicos pierdan su uso, aprovechamiento y funcionalidad, al tiempo que se complejiza en un problema de salud pública. Este fenómeno de acumulación de calor se intensifica en las horas de mayor radiación solar, generando "puntos calientes" que afectan directamente el confort térmico de los peatones y residentes. La falta de sombra y de superficies que disipen el calor contribuye a que estas zonas sean menos habitables y más propensas al estrés térmico, lo cual tiene un impacto negativo en la calidad de vida de las personas y en el uso de los espacios públicos. La inacción frente a este fenómeno agrava la habitabilidad del área y crea un entorno urbano menos confortable y sostenible.

En la ciudad de Pasto, no atender las islas de calor urbanas es problemático por varias razones. Desde un punto de vista ambiental, las islas de calor aumentan las temperaturas urbanas, agravando el cambio climático y deteriorando la calidad del aire y el equilibrio ecológico.

En términos de confort, las altas temperaturas generan estrés térmico en los residentes, reduciendo su bienestar y aumentando los riesgos de salud, especialmente en poblaciones vulnerables. Abordar las islas de calor mediante estrategias como de diseño urbano que involucre la presencia de arborización, elección de materiales adecuados y morfología edificatoria es esencial para mejorar el ambiente, el confort y aprovechamiento de espacios en Pasto.

El problema se origina en la ausencia de intervenciones que permitan controlar el impacto del calor en esta zona de alta densidad urbana. Sin medidas que incorporen vegetación o el uso de materiales de construcción adecuados, las superficies urbanas absorben y retienen más calor, incrementando las temperaturas locales.

Por lo anterior, la pregunta problema que se plantea esta investigación se enfoca en ¿por qué la carencia de estrategias de mitigación pasivas agrava el fenómeno de islas de calor urbano y la reducción del confort térmico de sus habitantes, específicamente en las calles 18 y 19 de Pasto?

### **Justificación**

La investigación propuesta tiene como objetivo contribuir a mitigar el fenómeno de las islas de calor sobre en la conexión norte-sur del municipio de Pasto en el tramo de las calles 18 y 19, y las carreras 19 y 31c. Este problema urbano-ambiental presenta un impacto negativo en la sensación térmica al elevar la temperatura en la zona que a su vez afecta el uso del espacio urbano. Las islas de calor son un fenómeno que puede tener graves implicaciones para la calidad de vida urbana y el medio ambiente, por lo que es importante investigar formas de mitigar sus impactos. El estudio profundiza la comprensión actual del tema y ofrece una contribución a la teoría existente.

Se espera que los resultados de la investigación puedan ser utilizados para implementar políticas y medidas que promuevan el desarrollo sostenible en la zona y a la vez contribuir a la lucha contra el cambio climático, a partir de nuevas concepciones del diseño urbano. Es importante destacar que estas medidas se alinean con las visiones del Plan Especial de Manejo y Protección (PEMP) y el componente programático del Plan de Ordenamiento Territorial 2015-2027, en la revitalización de conjuntos urbanos.

Esta investigación se distingue por su enfoque integral y novedoso en el abordaje del problema de las islas de calor y los factores externos que afectan el confort en ambientes urbanos. A diferencia de otros estudios, esta investigación considera aspectos como deficiencia

de confort y propone estrategias de mitigación, este enfoque novedoso en el campo de la arquitectura y el urbanismo ambiental busca complementar y enriquecer la teoría existente en el área de estudio, generando nuevos conocimientos y soluciones a los problemas ambientales y urbanos del municipio de Pasto.

El objetivo de la investigación permite beneficiar a toda la población que transite o permanezca en los 465.232 metros cuadrados delimitados por las calles 18 y 19, entre las carreras 19 y 31c. Esta zona se considera un nodo articulador de la ciudad debido a su alta concentración de actividades sociales y comerciales a lo largo de todas las temporadas, y también actúa como un importante punto de distribución y espera del transporte público. Las carreras circundantes complementan las funciones de la calle y el anillo fundacional, generando una mayor demanda en el área antes mencionada y contribuyendo al desarrollo sostenible de la ciudad.

Por medio de la propuesta se desarrolla una solución atractiva, permanente y duradera, que sirve como guía para la implementación de políticas y estrategias de mitigación. Este proyecto contribuye al conocimiento de las islas de calor y su mitigación en entornos urbanos altamente transitados. Además, el estudio tiene el potencial de descubrir nuevos hallazgos o estrategias para mitigar las islas de calor en un entorno urbano deteriorado, lo que podría tener implicaciones importantes, por ejemplo, en la aplicación directa y de largo alcance en el contexto urbano.

Finalmente, este estudio tiene un alto valor metodológico, ya que propone el uso de diversas técnicas y modelos para medir y analizar las islas de calor urbano de Pasto. De esta manera, la investigación permite la mejora en la forma de experimentar con una o más variables, obteniendo mejores resultados y recomendaciones más precisas y efectivas para la reducción del impacto de las islas de calor en un entorno urbano. La investigación no solo busca ampliar el conocimiento existente sobre las islas de calor urbano y su impacto en la calidad urbana, sino también mejorar la forma en que se aborda y se investiga este problema. Además, la investigación se inscribe en el panorama nacional e internacional de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, especialmente el objetivo número 11 *Ciudades y comunidades resilientes*. La investigación se relaciona con otros esfuerzos nacionales e internacionales en esta área, como los acuerdos y compromisos climáticos internacionales, y puede aportar a la generación de conocimiento y buenas prácticas en el desarrollo de ciudades sostenibles en el contexto global.

## **Objetivos**

### ***Objetivo general***

Proponer estrategias de mitigación pasiva para reducir el impacto de las islas de calor urbanas: estudio de caso en la conexión vial norte-sur en Pasto-Nariño.

### ***Objetivos específicos***

- Identificar la caracterización ambiental del sector de estudio mediante la recolección de información secundaria y primaria de factores ambientales.
- Analizar la confortabilidad de los usuarios en el sector de estudio a partir de la comparación de variables ambientales y urbanísticas.
- Definir estrategias de mitigación pasiva respaldadas por simulaciones ambientales, con el objetivo de minimizar los efectos que favorecen la aparición de islas de calor urbano.

## **Área de investigación**

Este trabajo de grado aborda el área de investigación "Medio ambiente" pues se enfoca en el estudio de variables ambientales urbanas. La investigación se centró específicamente en la conexión norte- sur de Pasto y examinó el impacto del fenómeno de islas de calor. Se analizaron los problemas asociados y sus causas con el objetivo de proponer estrategias de mitigación que mejoren la confortabilidad de los espacios urbanos, promuevan la sostenibilidad y potencien la activación comercial.

## **Línea de investigación**

Este estudio se enmarca en la línea de investigación "Ciudad, paisaje y territorio", al analizar componentes ambientales temperatura, humedad relativa y viento; espacio público, confortabilidad y propuestas de estrategias pasivas.

## **Antecedentes**

En su investigación Godínez y López (2018) a través de sus antecedentes sobre la de investigación las islas de calor urbanas encuentran que se remonta al siglo XIX, cuando Howard (1818) fue uno de los primeros en notar un "exceso de calor artificial" en Londres en comparación con las áreas circundantes. Descubrimientos similares fueron informados por Renou (1855) y Schmidt (1917) en París y Viena, respectivamente. Manley (1958) confirmó el fenómeno y lo

denominó "Heat Island" o "islas de calor" después de realizar estudios en ambas ciudades. Con el tiempo, los datos de satélite se incorporaron en los estudios de las islas de calor. Rao (1972) propuso uno de los primeros métodos para estudiarlas utilizando datos de bandas de infrarrojo térmico, lo que hizo que la teledetección fuera mucho más relevante en los estudios urbanos. En resumen, desde los primeros estudios de Howard en el siglo XIX hasta los métodos modernos basados en satélites, el estudio de las islas de calor ha evolucionado significativamente.

Changnon Jr. (1980) estableció tres parámetros de afectación relacionados con la islas de calor urbana: (i) efectos termodinámicos que conducen a más nubes con mayor altura e inestabilidad, (ii) efectos termodinámicos y mecánicos que producen zonas de confluencia y (iii) formación de núcleos gigantes agregados que conducen a un proceso de coalescencia más vigoroso y más frecuente en zonas urbanas que en zonas rurales. La investigación de Changnon Jr. y colaboradores (1976) permitió un avance significativo en la comprensión del comportamiento de la contaminación del aire y de la islas de calor, ya que se encontró que estos cambios tienen un efecto directo sobre la precipitación. En la investigación de Hjelmfelt en (1982), se utilizó un modelo numérico para simular la islas de calor de St. Louis, Missouri. Los resultados indicaron la presencia de velocidades verticales positivas a favor del viento de la ciudad, y sugirieron una relación entre las anomalías en las nubes y la precipitación y las perturbaciones en la dinámica de la capa límite causada por las islas urbanas y la rugosidad superficial.

Jauregui (1984 citado en Pérez y castro, 2019) enfatiza que a pesar de las diferencias en la estructura urbana de las ciudades tropicales y de latitudes medias, ambas experimentan la islas de calor. Por lo tanto, se puede concluir que la estructura urbana en sí misma genera calor artificial de manera continua e independientemente de su configuración. Por otro lado, Changnon (1992) indica que la extensión y magnitud de las anomalías de precipitación urbana y de viento están relacionadas con el tamaño del área urbana. En cuanto a la relación entre el aumento de la temperatura terrestre y los cambios en la cobertura vegetal, Owen, Carlson y Gillies en (1998) encontraron evidencia de que los materiales de construcción que absorben calor durante el día y lo liberan por la noche, son los responsables de este fenómeno (Deosthali, 2000). A partir de esto, se ha planteado la hipótesis de una relación inversa entre la cobertura vegetal y el aumento de la temperatura, sugiriendo que las áreas con grandes pérdidas de vegetación o sin vegetación serán más propensas a un aumento de temperatura.

En cuanto al análisis de las islas de calor, Yuan y Bauer (2007) destacan la importancia de la vegetación como un factor en este fenómeno. Sin embargo, señalan que la variación de la

vegetación a lo largo del año no permite una relación lineal con la temperatura, lo que hace que un índice de vegetación no sea suficiente para estudios multi temporales. También Montoya y Castellanos (2020), determinan que una de las formas de analizar el efecto islas de calor en las ciudades es a través del estudio de los procesos de urbanización, que incluyen factores importantes como el crecimiento poblacional y la demanda de nuevos espacios para los habitantes.

Existen diversas investigaciones que han analizado las variaciones espacio-temporales de la temperatura en distintas ciudades del mundo. Por ejemplo, en Caracas en 2010 se presentaron importantes anomalías térmicas y un aumento en el material particulado en suspensión (Córdova, 2011). En el Valle de Aburra, Colombia, se registró un aumento de poco más de 7 °C en la temperatura máxima y cerca de 3 °C en la temperatura promedio entre 1986 y 2010 (Trujillo, 2012). En Santiago de Chile, se reportó que las temperaturas mínimas urbanas son mayores que las rurales en casi 2 °C reflejando el efecto de la islas de calor urbana (Espinoza y Vide, 2013).

Diferentes estrategias y técnicas se han utilizado para entender y disminuir el efecto islas de calor en las ciudades. Por ejemplo, Gómez y Castañeda (2013) combinaron técnicas de sistemas de información geográfica y análisis geoestadísticos para identificar y establecer las diferentes causas de las islas de calor urbano en Bogotá, mientras que Ángel, Ramírez y Domínguez (2010) utilizaron pruebas de hipótesis y análisis de componentes principales para caracterizar las diferentes estaciones meteorológicas de la ciudad. Asimismo, Navarro R. D. y Navarro V. P. (2016) llevaron a cabo un estudio en la ciudad de Medellín utilizando observaciones meteorológicas y análisis estadísticos para entender los cambios en el clima de la ciudad.

En cuanto a la relación entre el tipo de cobertura y la temperatura del aire, se ha encontrado que la vegetación tiene un efecto enfriador en el fenómeno de la islas de calor en las ciudades (Qiu G., 2017); (Yao et. al., 2017). Además, otros factores como la densidad urbana, el calor antropogénico y la morfología urbana también pueden influir en este fenómeno (Chapman, 2017 y Vuckovic, 2017).

## **Estado del Arte**

La ciudad de Pasto enfrenta un reto significativo en la gestión ambiental, ya que las entidades gubernamentales y públicas encargadas de esta tarea carecen, hasta la fecha, de estudios sistemáticos que identifiquen el fenómeno de las islas de calor urbanas (UHI) y de

estrategias de mitigación efectivas. La falta de un enfoque basado en evidencia para abordar esta problemática puede acarrear consecuencias negativas para la calidad de vida de los habitantes y para el bienestar del ecosistema urbano.

Una de las contribuciones más significativas proviene de Escobar (2020), quien llevó a cabo un estudio titulado *Modelo de intervención para mitigar las islas de calor urbanas en la conexión oriente-occidente de San Juan de Pasto, cra.27, cra.24, Cujacal Mijitayo*. En su trabajo, Escobar propone un modelo de intervención urbana que se basa en estrategias de acondicionamiento pasivo, buscando mejorar el entorno urbano afectado por las islas de calor a través de un análisis exhaustivo de las patologías urbanas y de las condiciones cuantitativas de los componentes de la zona. Este enfoque integra diferentes técnicas, tales como la incorporación de vegetación, la modificación del albedo de las superficies y la optimización de la circulación del aire.

Adicionalmente, el trabajo de Navarro Muriel (2020) en su investigación titulada *La concepción de hábitat, una ciudad proyectada desde la biodiversidad* ofrece un enfoque complementario al problema. En su estudio, Navarro propone un modelo urbano-ambiental para Pasto basado en la restauración ecológica de los ecosistemas urbanos circundantes, específicamente en la cuenca de la quebrada Mijitayo y el río Pasto. Este enfoque sugiere que la integración de la biodiversidad urbana y la fauna y flora nativa en el diseño de la ciudad no solo puede contribuir a la mitigación de las temperaturas, sino también a la mejora general de la calidad ambiental.

Como complemento a estas investigaciones locales, el estudio de Zuluaga Gómez et al. (2023) proporciona una perspectiva valiosa sobre cómo las estrategias de arborización pueden servir como herramientas efectivas para mitigar las islas de calor. En su investigación sobre el impacto de la arborización en Barranquilla, Colombia se demostró que la plantación de árboles en espacios públicos puede reducir drásticamente las temperaturas operativas, logrando mitigar el efecto de las islas de calor en un 63% con la inclusión de 50 árboles a lo largo de la vía "Carrera 44". Este estudio, que utilizó simulaciones computacionales para analizar distintos escenarios de arborización, también consideró proyecciones futuras para el año 2050 bajo diferentes escenarios climáticos.

Adicionalmente, es relevante considerar estudios internacionales que amplían la comprensión de las dinámicas de las islas de calor en diferentes contextos climáticos. En este sentido, la investigación realizada por Middel et al. (2012) sobre el *Impacto de la forma urbana y*



*el diseño en el microclima de media tarde en Phoenix, Arizona* proporciona información valiosa sobre cómo las decisiones de diseño urbano pueden influir en el microclima local en ciudades ubicadas en climas semiáridos. Utilizando el modelo ENVI-met, los investigadores simularon el comportamiento térmico de diferentes tipologías de barrios residenciales en Phoenix, combinando distintos tipos de paisajismo (mesic, oasis y xeric) para determinar cómo estas configuraciones afectan las temperaturas durante las horas más cálidas del día. Los resultados indican que la advección del aire y la disposición espacial del sombreado juegan un papel crucial en la distribución de las temperaturas dentro de los barrios, y que las formas urbanas densas pueden crear "islas frías" locales.

El enfoque utilizado en Phoenix, basado en el esquema de clasificación de Zonas Climáticas Locales (LCZ), podría ser particularmente útil para la planificación urbana de Pasto. Este esquema permite categorizar las áreas urbanas en función de su morfología y su impacto sobre el microclima, facilitando la toma de decisiones de diseño que optimicen el confort térmico y la eficiencia energética. Además, el estudio de Middel et al. sugiere que la combinación de estrategias de sombreado natural, como el uso de vegetación y la planificación de corredores de viento, junto con una morfología urbana densa, puede ayudar a reducir las temperaturas y mejorar el confort térmico en áreas urbanas densamente pobladas.

Por lo anterior, esta investigación es una línea base para la comprensión del fenómeno de islas de calor, que se apoya en investigaciones previas locales e internacionales. Las estrategias de intervención urbana pasivas, como el acondicionamiento pasivo, la arborización y el diseño urbano enfocado en la morfología y el sombreado, emergen como herramientas clave para mitigar este problema, mejorando la calidad de vida y promoviendo la sostenibilidad ambiental de la ciudad.

## **Marco teórico**

### ***Métodos de mediciones de factores ambientales***

La variedad de mediciones ambientales presentes en la investigación como temperatura, humedad, radiación, entre otros, deben conectarse y correlacionarse directamente con la temática del confort térmico en ambientes exteriores y el estudio de parámetros variables que influyen en él. Las mediciones resultan necesarias para determinar el estado actual del espacio y generar estrategias fundamentadas, conectándose así con la búsqueda de soluciones para mejorar el bienestar de sus ocupantes.

De acuerdo con Guzmán y Ochoa (2014) en su investigación *Confort térmico en los espacios públicos urbanos clima cálido y frío semi-seco* expone que el estudio de confort exterior aborda una mezcla compleja de relaciones entre parámetros altamente variables, que incluyen los grupos de usuarios, las actividades y el microclima, es decir, afronta aspectos relacionados con la comodidad bioclimática y los efectos de adaptación a la modificación de condiciones del ambiente exterior.

De la misma manera Escobar (2020) utiliza un método para la recolección de la información de las variables de ambientales, este protocolo sirve como insumo a lo largo de esta mediante una observación no participante, recopilación documental y cartografías que identifican el espacio urbano actual donde se desarrolla el estudio.

### ***Métodos de análisis de factores ambientales***

El análisis de factores ambientales es una metodología que busca identificar las relaciones de causa y efecto entre las variables involucradas en un objeto de estudio determinado. Gómez, Morales y Ruiz (2007) en su investigación, *El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados*, busca fundamentalmente encontrar las relaciones de causa y el propósito metodológico efecto entre las variables involucradas con el objeto de estudio. El enfoque cuantitativo es altamente exitoso en el estudio de sistemas simples con pocos componentes y procura demostrar principios universalmente aceptados Groat y Wang (2002).

También propone que se han desarrollado diversos modelos matemáticos que buscan establecer estándares de condiciones climáticas consideradas confortables para el ser humano. desde este punto de vista, Givoni (1969) definió la sensación térmica como la percepción del calor o frío del ambiente a partir de la actividad neurálgica originada en los nervios de la piel que actúan como receptores térmicos.

También propone que se han desarrollado diversos modelos matemáticos que buscan establecer estándares de condiciones climáticas consideradas confortables para el ser humano. Desde este punto de vista, Givoni (1969) definió la sensación térmica como la percepción del calor o frío del ambiente a partir de la actividad neurálgica originada en los nervios de la piel que actúan como receptores térmicos.

### ***Relación entre materiales- vegetación e islas de calor***

La relación se refiere al impacto que tienen estos elementos en el aumento de la temperatura en áreas urbanas y cómo su correcta selección y disposición puede contribuir a disminuir este efecto negativo. La selección adecuada de materiales y la inclusión de áreas verdes en el diseño urbano pueden ayudar a reducir la temperatura y mejorar la eficiencia energética de las ciudades.

En su trabajo Salas y Castro (2019) mencionan que para identificar las islas de calor en la ciudad de Bogotá, se usa la teledetección y se concluye que el monitoreo de la ciudad ha sido el objetivo de algunas investigaciones, por ejemplo, el análisis del crecimiento urbano y pérdida de cobertura vegetal, en donde Owen, Carlson & Gillies (1998) relacionan el aumento de la temperatura terrestre con cambios en coberturas. Este fenómeno ocurre entre otras cosas por el tipo de materiales usados para construir, los cuales absorben el calor en el día y posteriormente lo liberan en la noche (Deosthali, 2000). En este punto surge la hipótesis de una relación inversa entre aumento de temperatura y cobertura vegetal, planteando que aquellas áreas con grandes pérdidas de vegetación o carentes de ellas serán más propensas a un aumento de temperatura.

De la misma manera Galvez Salinas (2014) determina una estrecha correlación del tipo de material y sus propiedades físicas. Concluye que la islas de calor urbana es un fenómeno que se produce en las áreas urbanas y suburbanas como consecuencia de la utilización de materiales con una alta capacidad de absorción y retención del calor solar (albedo), muy superiores a las de los materiales naturales o de las áreas rurales menos desarrolladas.

### ***Modelos digitales de simulaciones ambientales***

Los modelos digitales de simulaciones ambientales son una herramienta crucial en la evaluación de la eficiencia energética, el confort y el impacto ambiental. La tecnología para crear estos modelos ha avanzado significativamente en los últimos años, lo que ha llevado a una mayor precisión y eficacia en las simulaciones. Algunas de las herramientas más populares para crear modelos digitales de simulaciones ambientales incluyen la interfaz de modelado Rhino y su complemento de parametrización y programación, Grasshopper, junto con su extensión dedicada a simulaciones ambientales, Ladybug.

A medida que el diseño de alto rendimiento se vuelve más deseable en el campo de la arquitectura, también crece la necesidad de apoyar a los arquitectos con herramientas de análisis ambiental. Rhino/Grasshopper es una de las plataformas más utilizadas por los diseñadores en

la actualidad. Ya existen varios complementos ambientales desarrollados para Rhino/Grasshopper; sin embargo, Ladybug ofrece varias ventajas que los complementos de diseño ambiental existentes no proporcionan.

Ladybug permite importar archivos estándar de clima de EnergyPlus (.EPW) en Grasshopper y proporciona una variedad de gráficos interactivos 2D y 3D fáciles de usar que respaldan el proceso de toma de decisiones durante las etapas iniciales del diseño. Además, simplifica el proceso de análisis, automatiza y acelera los cálculos, y proporciona visualizaciones gráficas claras en la interfaz de modelado 3D de Rhino/Grasshopper. La integración con las herramientas paramétricas de Grasshopper facilita recibir retroalimentación casi instantánea sobre las modificaciones del diseño y, dado que se ejecuta dentro del entorno de diseño, la información y el análisis son interactivos. El desarrollo de Ladybug es gratuito y de código abierto, permitiendo a los usuarios personalizar la herramienta según sus necesidades y contribuir al código fuente. (Roudsari, M. S., & Pak, M., 2013).

### ***Estrategias de mitigación de islas de calor***

Las islas de calor son áreas urbanas que experimentan temperaturas más altas que las áreas circundantes debido a la absorción y retención de calor por parte de superficies urbanas como edificios, carreteras y aceras. Esta determinación se da a partir de un proceso metodológico, de medición, análisis de datos y simulaciones.

En su investigación Mercado Maldonado (2022) *Mitigación y adaptación al efecto de islas de calor urbana de clima cálido seco: El caso de Hermosillo, Sonora*, determina que el principal hallazgo de las estrategias presentadas para clima cálido seco es la incorporación de la vegetación arbórea que además de aportar enfriamiento evaporativo, su principal función como mitigación a la ICU, es control de radiación solar directa a fin de proveer sombras a las superficies urbanas artificiales ya sea en vialidades, banquetas y objetos arquitectónicos y en superficies naturales, ya que el suelo natural del desierto tiene una alta capacidad de absorción térmica. Por otra parte, localidades en clima cálido seco estimulan el uso del aire acondicionado de manera continua lo que implica una limitante en el control de calor antropogénico, sin embargo, se plantean medidas de adaptación en relación con la arquitectura bioclimática para balancear los valores de consumo energético.

### **Carta bioclimática Olgay**

El concepto inicial para definir las zonas de confort térmico se basa en la creación de diagramas bioclimáticos, los cuales pueden ser adaptados a diversas condiciones climáticas, principalmente al considerar la temperatura del aire y la humedad relativa de la carta bioclimática de Olgay (1968). A lo largo del tiempo, la carta ha buscado establecer límites y rangos de confort térmico humano, apoyándose en indicadores específicos véase en la tabla 1. No obstante, se ha observado en estudios adicionales que estos límites pueden ser demasiado restrictivos bajo ciertas condiciones climáticas.

**Tabla 1**

*Percepción del ambiente térmico bajo documentación de distintos autores.*

<b>Autor</b>	<b>Temperatura</b>	<b>H Relativa</b>	<b>V Viento</b>	<b>Observación</b>
Baruch Givoni (1956)	21 - 26 °C	5 - 17 Mm Hg	----	Óptimo Límite
Victor Olgay (1968)	23,9 - 29,5 °C	20 - 70 %	----	Trópico
Ashrae (1977)	22,2 - 26,6 °C	4 Mm	----	Óptimo
Yaglou - Drinker (1928)	21,6 - 25 °C	14 Mm Hg	----	Usa Verano (IE)
O. H. Koenigsbenger y Otro (1971)	22 - 27 °C	30 - 70 %	----	Trópicos (IE)
C. E. Brooks (1959)	23,3 - 29,4 °C	30 - 70 %	----	Trópicos
G. Brager y R. De Dear (1998)	----	----	(1-2 M/s)	-----
Refrigerating and air-conditioning engineers (Ashrae)	----	----	(<3 M/s)	-----
Y. Zhang, J. Arens, y E. A. Arens (2019)	----	----	(0-2 M/s)	-----
Valor Promedio	24,79 °C	48,33	1,6 M/S O 5,7 Km7h	

Fuente: Monreal (2014).

A través de una revisión bibliográfica, diversos autores se esfuerzan por definir el confort térmico como la sensación neutral experimentada por un individuo en un ambiente térmico específico (Ashrae, 1971). Esta definición se basa en una variedad de parámetros o variables de selección. Entre ellos, se encuentran datos perceptuales como los definidos por Chávez (2001) quien determina que la percepción del ambiente térmico está influenciada por la adaptabilidad del entorno, los parámetros ambientales, los factores individuales, el contacto visual con el entorno y las expectativas de confort. Esta relación se ilustra de manera más clara en la Figura 2.

## Figura 2

*Mapa mental de las variaciones de la percepción del ambiente térmico*



Fuente: Chavez (2001).

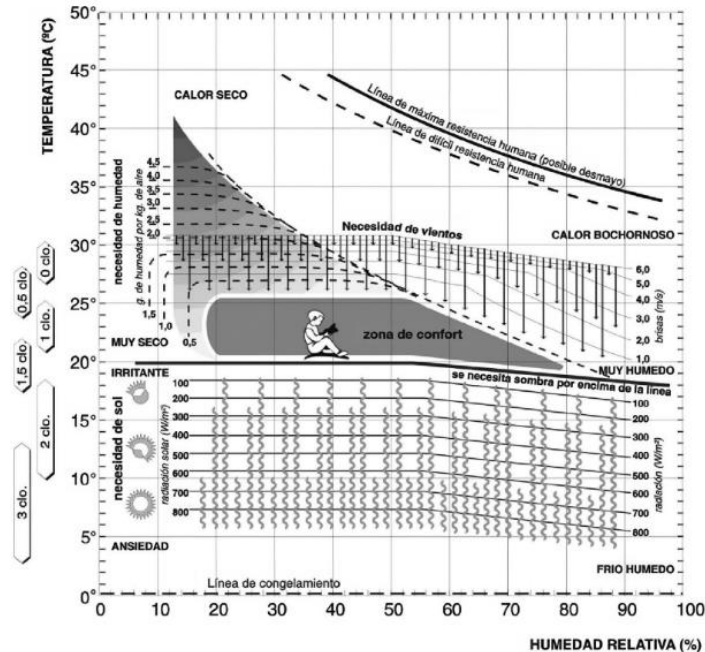
La carta bioclimática integra dos variables esenciales para el confort: la humedad y la temperatura. Incorpora factores suplementarios como la velocidad del viento, la radiación y la evaporación, que funcionan como ajustes. De esta forma, proporcionan de manera práctica un diagrama que se aplica en espacios exteriores.

Colaborar con las fuerzas naturales en lugar de oponerse a ellas se revela como la estrategia más efectiva, aprovechando su potencial para mejorar las condiciones de vida en entornos urbanos, especialmente en la mitigación de islas de calor. El proceso para gestar un ambiente climáticamente equilibrado implica cuatro etapas: (i) análisis exhaustivo de las variables climáticas, biológicas y tecnológicas, (ii) comprensión de las islas de calor, (iii) implementación del diseño urbano y (iv) la expresión arquitectónica como fase final.

Según la carta de Olgay, el contexto del bienestar o confort óptimo para una persona en reposo y a la sombra, se establece una temperatura ambiente que oscila entre 22°C y 27°C, complementada con una humedad relativa entre el 20% y el 80%. Estos parámetros definen una sensación térmica generalmente aceptable. Para representar estos valores, en el gráfico se utiliza el eje vertical para la temperatura seca del aire, que equivale a la lectura de un termómetro estándar. Mientras tanto, en el eje horizontal se representa la humedad relativa del aire, ofreciendo así una representación de las condiciones de confort, ver figura 3.

**Figura 3**

*Diagrama de Olgay*



Fuente: Research Gate.

En la carta bioclimática también se representa la radiación ubicada en el límite inferior de la zona de confort y expresada en Kcal/hora. A partir de esta línea, se traza la sombra o límite a partir del cual la sensación de confort se ve afectada por el frío. La velocidad del viento en m/s, representada por líneas ascendentes junto con la temperatura y descendentes junto con la humedad. La línea de congelación, situada en el borde inferior del gráfico, indica la temperatura mínima soportable antes de que aparezcan problemas de congelación. La línea de insolación, en la parte superior, señala la posibilidad de desmayos debido a la combinación de altas temperaturas y elevada humedad. Los puntos ubicados por debajo de la zona de confort indican periodos con déficit de calor, por lo que se requiere la radiación solar para alcanzar la comodidad. Los puntos situados por encima señalan periodos sobrecalentados, y el bienestar exige la ventilación o enfriamiento evaporativo para volver a la zona de confort. Al utilizar el gráfico, se pueden considerar temperaturas mensuales, medias o extremas, así como valores diarios.

Cada región geográfica cuenta con una carta bioclimática específica, diseñada según las condiciones ambientales propias de su clima. En una de estas cartas, se pueden analizar las medidas a tomar entre el punto de partida de un espacio y aquel que garantizaría el confort térmico.

### **Variables de la investigación**

El uso de variables cuantificables es crucial para llevar a cabo un análisis objetivo y comparativo de la situación ambiental y climática en los distintos puntos del área de estudio. Las variables cuantificables permiten obtener datos numéricos in situ lo que asegura que la investigación se sustente en la observación directa y recolección de información primaria. Se seleccionaron las siguientes variables:

- La temperatura. En este estudio, se mide la temperatura absoluta de cada propiedad analizada en grados centígrados, por tanto se cuantifica con precisión el impacto de las islas de calor en el área de estudio. Se identifica los sectores con mayor calentamiento absoluto, así como las horas del día en las que éste se vuelve más crítico para proponer estrategias de mitigación focalizadas.
- La humedad relativa se define como la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua presente en el aire y la máxima cantidad de vapor de agua que puede contener a la misma temperatura y presión. Aunque la humedad no es una problemática central en esta investigación, su medición sistemática determina variaciones significativas en los niveles de humedad relativa, lo cual puede incidir en las estrategias de mitigación propuestas con mayor precisión. De esta manera, se podrá tener un enfoque más integral de la situación ambiental y climática en el área de estudio.
- La velocidad del viento se define como la magnitud de la velocidad a la que el aire se desplaza horizontalmente en la atmósfera. Se expresa en unidades metros por segundo (m/s) o kilómetros por hora (km/h). Esta medida representa la rapidez con la que el aire se mueve en una dirección específica en un punto dado de la atmósfera.

La combinación de estas tres variables, temperatura absoluta (en grados centígrados) y humedad relativa (en porcentaje) y velocidad de viento (m/s) permitió cuantificar aspectos ambientales y climáticos fundamentales para determinar el impacto de las islas de calor en el área de estudio. Su medición contribuyó a identificar tanto las zonas como las franjas horarias más afectadas con claridad, posibilitando así el desarrollo de estrategias de mitigación focalizadas, acordes a las necesidades específicas de cada sector. Además, la utilización de variables cuantificables es esencial para establecer una base sólida y fiable para la investigación y, por ende, para proponer soluciones eficaces y duraderas a las problemáticas ambientales y climáticas en el área de estudio.



## **Hipótesis de investigación**

El uso de materiales de construcción en espacios urbanos y edificaciones, caracterizados por su alta reflectividad solar y baja inercia térmica, reduce la absorción de radiación, minimizando la acumulación de calor en las superficies. Este proceso ocurre principalmente por la radiación, donde los materiales reflejan una mayor cantidad de luz solar, evitando que las superficies se calienten en exceso. La incorporación de vegetación adecuada, como árboles de copas amplias y hojas reflectantes, genera sombra y enfría el entorno mediante la transpiración de las hojas, lo que facilita la evaporación y reduce las temperaturas superficiales hasta en 5°C. La combinación de estos elementos mejora la sensación térmica, al mitigar la retención de calor por convección y permitir una circulación eficiente del aire, evitando que el calor quede atrapado.

Los pavimentos porosos juegan un papel fundamental en la disipación del calor, ya que permiten la infiltración del agua de lluvia, que luego se evapora, refrescando el entorno y contribuyen a la reducción del fenómeno de las islas de calor urbanas. Las plazas y terrazas con áreas sombreadas no solo mitigan el estrés térmico, sino que también fomentan las interacciones sociales, creando espacios más habitables. La nueva propuesta en morfología edificatoria mejora la ventilación natural y proyecta sombra en las calles, lo que reduce las temperaturas mediante procesos de conducción y convección.

En síntesis, el diseño urbano bajo estos enfoques no solo mejora la calidad de vida de los peatones, también revitaliza la actividad económica, turística y comercial del sector, y devuelve el uso primario de la calle como espacio público funcional.

## **Metodología**

### ***Paradigma***

Esta investigación se basa en el positivismo que sostiene que el conocimiento científico se obtiene mediante la observación y verificación de hechos. El objetivo es generar datos medibles y verificables para establecer conclusiones objetivas sobre el impacto de las islas de calor en la calidad de vida del sector del centro de la ciudad. Esto implica medir y cuantificar la realidad objetiva. Se genera conocimiento científico empírico, basado en datos observables y medibles, para abordar problemas ambientales en zonas densamente pobladas. La investigación describirá los impactos de las islas de calor y permitirá soluciones más eficaces en un entorno real.

### ***Enfoque***

El enfoque de la investigación es cuantitativo por centrarse en la recolección de datos empíricos mediante recolección de fuentes externas y mediciones de campo. La metodología reunió datos medibles y objetivos para responder la pregunta de investigación sobre la evaluación integrada del impacto de las islas de calor en la calidad de vida urbana de Pasto. La naturaleza de la realidad a explorar es el ambiente urbano y su impacto en la calidad de vida de la ciudad. La investigación identificó áreas de mayor alteración por islas de calor comparándolas con estándares de confortabilidad y generó conocimiento empírico y cuantitativo basado en mediciones objetivas.

### ***Método***

La metodología se basó en el método científico que busca entender la realidad a través de la observación y experimentación, generando conocimiento empírico sobre la relación entre islas de calor y calidad de vida urbana en un contexto urbano. Este método permitió abordar problemas ambientales en zonas densamente pobladas de manera más eficaz. Se obtuvo conocimiento empírico mediante recolección de datos a través de una red de estaciones meteorológicas y mediciones de campo para identificar mayores alteraciones comparándolas con estándares de confort y se obtuvo datos concretos del impacto sin influir en resultados.

### ***Instrumentos de recolección de la información***

La investigación utilizó hojas de respuestas de test para recopilar información sobre el confort térmico, los efectos ambientales medibles y otras variaciones relacionadas. Las hojas de respuestas de test permitieron la obtención de datos de manera más rápida y precisa en comparación con la obtención de datos externos y/o propios. Además, estas hojas se procesaron y analizaron de manera más eficiente mediante software estadístico, lo que facilita la obtención de resultados confiables y significativos.

### ***Tipo de investigación***

La metodología de investigación propuesta se basa en un enfoque correlacional que buscó establecer la relación existente entre las variables temperatura y humedad relativa en relación con la calidad de vida urbana. Para ello, se realizarán mediciones de campo de dichas variables y se compararán con estándares de confortabilidad. La finalidad de la investigación es

generar conocimiento aplicado-empírico, obtenido a partir de los datos de campo recopilados y su posterior análisis estadístico. De esta manera, se obtuvieron resultados significativos y confiables que permitieron comprender la relación entre estas variables y su impacto en la calidad de vida urbana.

### ***Diseño de investigación***

El enfoque experimental en el diseño de la investigación permitió obtener datos objetivos y precisos sobre las variables de temperatura y humedad relativa en la zona de estudio. Al llevar a cabo una recolección de datos meteorológicos, de igual modo con mediciones de campo y comparar los resultados con estándares de confortabilidad se determinó el impacto real de las islas de calor en la calidad de vida urbana en la zona investigada.

Este enfoque permitió una evaluación más completa y precisa del problema, lo que facilitó la elaboración de soluciones más efectivas y eficientes en un entorno real. Además, al complementar el proyecto de peatonalización del centro histórico liderado por la municipalidad, se abordó de manera integral el problema de la calidad de vida urbana en la zona de estudio como lo es la conexión Norte-Sur en Pasto.

### ***Técnicas de recolección de la información***

Se necesitarán diferentes pruebas estadísticas para analizar las mediciones de campo y compararlas con estándares de confortabilidad. Se pueden aplicar test para comparar valores medios o distribuciones de variables como la temperatura ambiente y la humedad relativa, así como también para analizar la relación entre variables. Es esencial considerar si los datos se distribuyen normalmente para seleccionar las pruebas paramétricas o no paramétricas adecuadas. Además, para evaluar la efectividad de las medidas de mitigación implementadas, se pueden utilizar test antes-después.

### ***Procesamiento de la información***

El procesamiento de la información en el estudio sobre las islas de calor urbanas en Pasto, Nariño, incluye la recolección de datos ambientales (temperatura, humedad relativa y velocidad del viento este último bajo fuentes externas netamente) utilizando equipos específicos y estaciones meteorológicas. Estos datos se analizan estadísticamente y se comparan con los obtenidos de una red de estaciones en áreas circundantes. Además, se realizan simulaciones

digitales para evaluar la efectividad de las estrategias de mitigación propuestas, como la arborización y el uso de materiales permeables, utilizando software de modelado y simulación para garantizar resultados confiables y significativos.

### ***Población***

Este estudio se centra en la conexión norte-sur en el Municipio de Pasto-Nariño, específicamente en las calles 18 y 19. Esta área que se encuentra dentro de la comuna 1, abarca aproximadamente 465.232 metros cuadrados. El objetivo principal es analizar la interacción de varios fenómenos ambientales como la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del viento, a lo largo de esta conexión.

### ***Muestra***

El tamaño inicial de la muestra se determinó utilizando una fórmula que tomó en cuenta una población equivalente a 465.232 metros cuadrados, un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%. De acuerdo con este cálculo, el tamaño de la muestra necesario resultó ser de aproximadamente 385 metros cuadrados. Para delimitar con precisión el área de estudio, se identificaron puntos específicos a través de coordenadas geográficas. Esta área se ajusta a la cantidad de 45 muestras, con un radio de influencia del recolector a través del termo higrómetro de 1.70 ml, equivalente a 9m<sup>2</sup> aproximadamente por punto específico.

## **Caracterización ambiental del fenómeno de islas de calor urbano en la conexión nortesur de Pasto, Nariño**

### **Análisis de las condiciones ambientales durante una década: estación meteorológica Universidad CESMAG- sede centro**

Se realizó un análisis y tendencia de las condiciones meteorológicas en Pasto en los últimos 10 años mediante la comparación de información primaria y secundaria para proyecciones futuras. Para ello, se inició con la revisión de datos históricos meteorológicos recolectados durante el período 2013-2023 por la estación meteorológica ubicada en la Universidad CESMAG (sede centro con coordenadas 1°12'31.25"N 77°16'40.88"O, y nivel de 2550 msnm). Parámetros como la temperatura máxima, mínima y promedio mensual y anual, la humedad relativa máxima, mínima y promedio mensual y anual, así como la velocidad del viento máxima, mínima y promedio mensual y anual, son fundamentales para analizar y definir su comportamiento a lo largo de la década. Se realizó un tratamiento de la base de datos como protocolo para la obtención de datos veraces y la reducción de errores. La estación meteorológica toma datos cada 5 minutos, lo que permitió caracterizar con mayor detalle cómo varían las condiciones climáticas a una escala intermedia en un área urbana. Se tomó la decisión de utilizar esta estación meteorológica por su precisión y proximidad con el sector de estudio. Sin embargo, es preciso aclarar que la estación no recolectó datos en algunas fechas por falta de fuente eléctrica, situación que no compromete el desarrollo de la investigación.

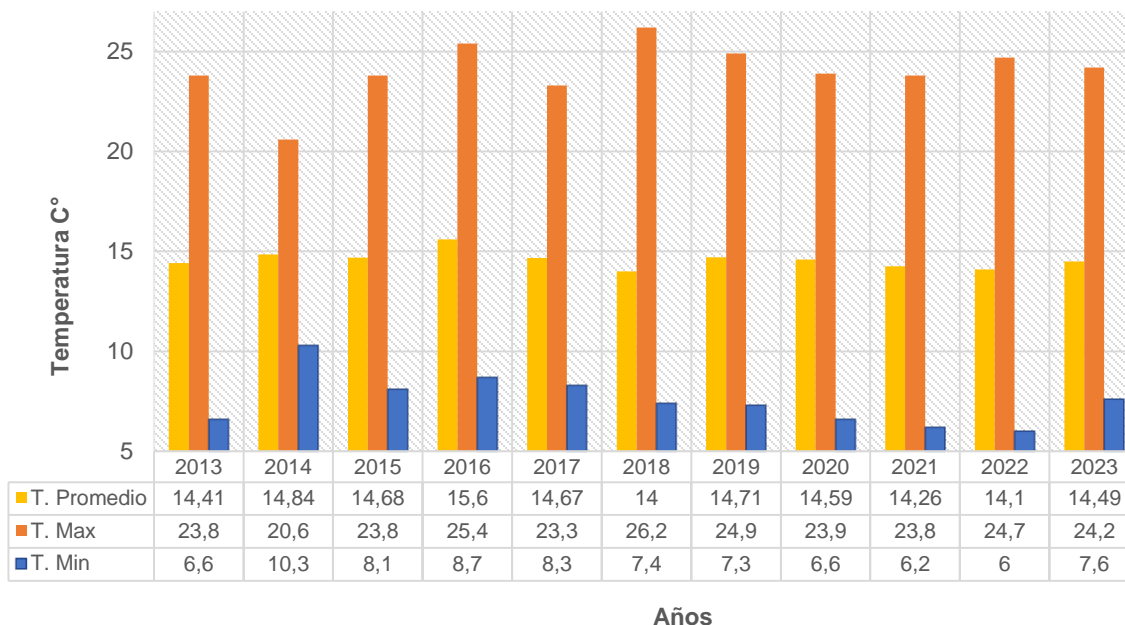
Al realizar la visita a la estación se verificó que los instrumentos y sensores que la componen como el tablero que alberga el “panel de visualización”, los sensores de temperatura, humedad, presión atmosférica y velocidad de viento estuvieran en correcta disposición y funcionamiento. Luego, se solicitó el historial de datos climáticos registrados durante el período 2013-2023 en formato digital (.Csv y .Txt). Las variables proporcionadas fueron temperatura máxima, mínima y promedio; humedad relativa máxima, mínima y promedio; precipitación total; y velocidad y dirección de viento máximas.

En la Figura 4 se presenta la representación gráfica de la temperatura a lo largo de la década, segmentada por año. Al analizar esta curva, emerge una clara variación anual en las temperaturas. El año con la temperatura máxima más alta fue el 2018, registrando un pico de 26.2°C. En contraste, se observó la temperatura mínima en el año 2022, con un valor de 6°C. Al observar el promedio de temperatura es importante acotar que las variaciones anuales no

cuentan con una gran diferencia en cuyo caso se mantiene entre un rango de los 14 °C y 15,6 °C.

**Figura 4**

*Temperatura máxima, promedio y mínima de Pasto en el periodo de una década del 2013-2023*

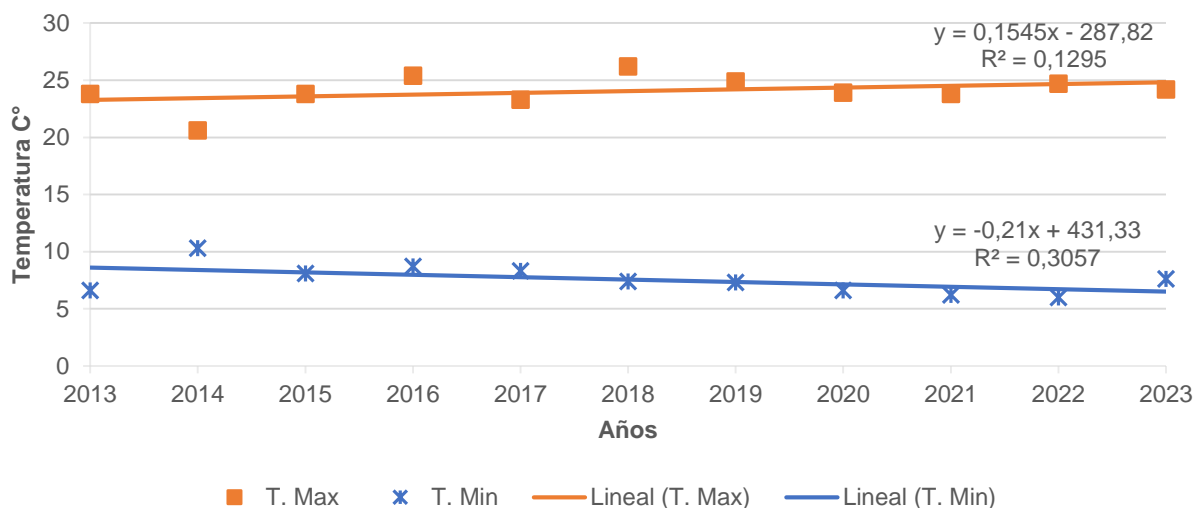


Fuente: Autoría propia.

La Figura 5, por su parte, exhibe un gráfico de dispersión y línea de tendencia de la variación de temperatura en la década de estudio. Esta línea de tendencia visualiza un patrón ascendente en las temperaturas máximas y, de manera contraria, una tendencia descendente en las temperaturas mínimas. Es decir que a medida que pasa el tiempo las temperaturas alcanzan rangos más altos o bajos con respecto a la variación anual mientras que para el mismo año, la temperatura suele ser más alta si la temperatura mínima decrece y más baja si la temperatura mínima aumenta. Particularmente relevante es la variabilidad extrema entre los puntos de máxima y mínima, alcanzando un intervalo de 18.7 °C en el año 2023. Estos análisis y representaciones gráficas son esenciales para desentrañar la compleja relación entre los datos climáticos y la formación de Islas de Calor Urbano (ICU) en el objeto de estudio.

**Figura 5**

*Temperatura, gráfico de dispersión y línea de tendencia de la variación a través de la década*

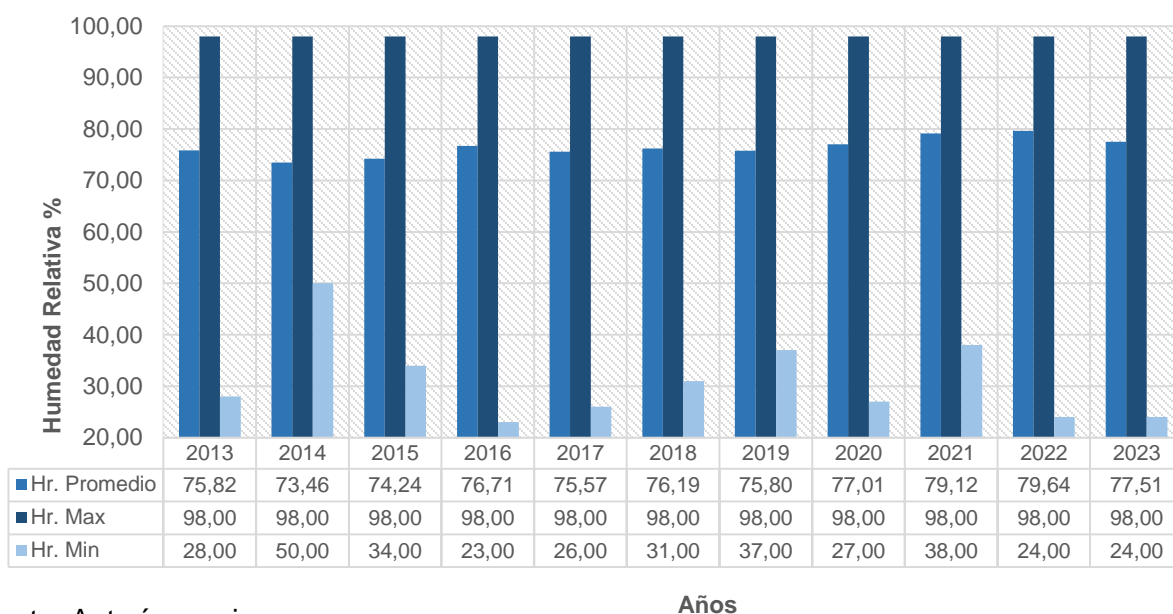


Fuente: Autoría propia

Los datos más relevantes recopilados para el registro de humedad se presentan gráficamente en la Figura 6.

**Figura 6**

*Humedad r. máxima, promedio y mínima de Pasto en el periodo de una década del 2013-2023*



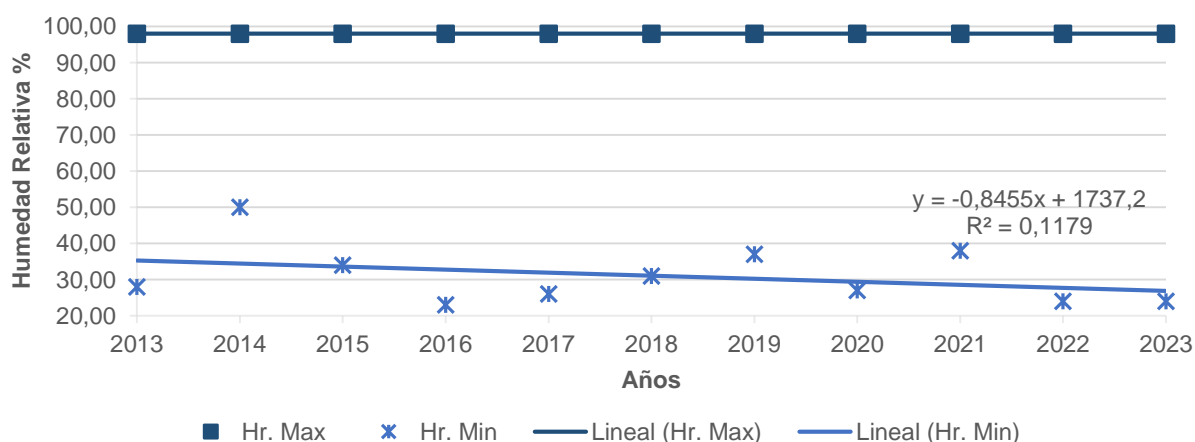
Fuente: Autoría propia.

El año con la humedad relativa promedio más alta fue 2022, alcanzando un pico del 79.64%. En contraste, el promedio más bajo se observó en 2016, con un valor de 73.46%. La humedad relativa máxima siempre alcanza el 98% mientras que la humedad relativa mínima en 2016 llegó a su valor más bajo con un 23%. El análisis de la humedad debe compararse con la temperatura de la ciudad, ya que de esto dependerá el confort térmico que experimenten los usuarios en las áreas urbanas estudiadas. Esta consideración tiene una influencia directa sobre las especies arbóreas presentes, debido a la relación directa entre la mayor cantidad de arborización y el aumento de la humedad, gracias a los componentes y procesos naturales de los árboles, por la existencia casi nula sobre algunas áreas específicas, esta influencia es muy poco notoria.

En la Figura 7 se muestra la línea de tendencia para la humedad relativa, se destaca un aumento gradual en la humedad relativa máxima y una disminución en la mínima. La diferencia entre los puntos máximos y mínimos es notable, con una variabilidad de 51.24% en 2016. Estos análisis y gráficos son esenciales para comprender la relación entre la humedad relativa y otros fenómenos climáticos, así como su contribución a la formación de Islas de Calor Urbano.

### Figura 7

*Humedad relativa, gráfico de dispersión y línea de tendencia de la variación a través de la década*



Fuente: Autoría propia.

El registro de velocidad del viento entre 2013 y 2023 muestra una variación anual significativa en la velocidad promedio del viento. El año con la velocidad del viento más alta fue



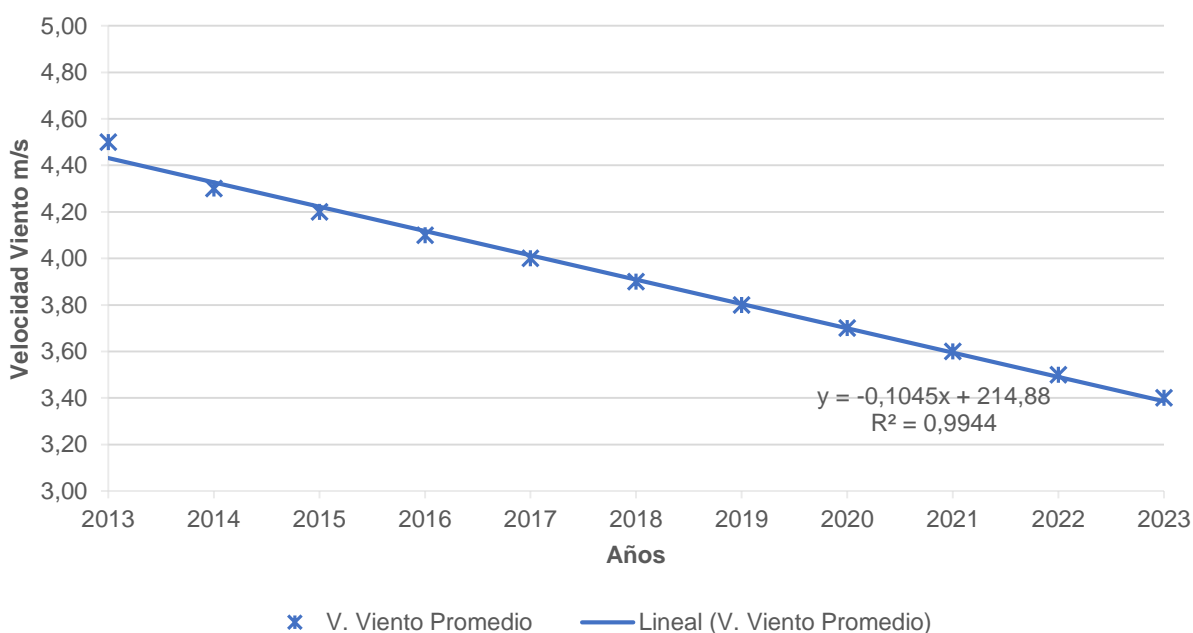
2013, con un pico de 4.50 m/s, mientras que 2023 registró la velocidad más baja con 3.40 m/s. Esta tendencia descendente sugiere una disminución continua en la velocidad promedio del viento a lo largo del período estudiado.

La reducción en la velocidad del viento puede provocar una menor renovación del aire, lo que resulta en una mayor acumulación de focos de temperatura. Esto afecta negativamente el confort térmico de los usuarios en las áreas urbanas estudiadas. Los datos registrados intentan aproximarse a un período ambiental específico.

La Figura 8 ilustra esta relación anual, se destacan la tendencia descendente en la velocidad del viento y su potencial impacto en la formación de Islas de Calor Urbano. La disminución en la velocidad del viento puede limitar la dispersión del calor y de los contaminantes atmosféricos, incrementando la temperatura local y reduciendo la calidad del aire.

### Figura 8

*Gráfico de tendencia sobre variación de velocidad promedio de viento anual*



Fuente: Autoría propia.

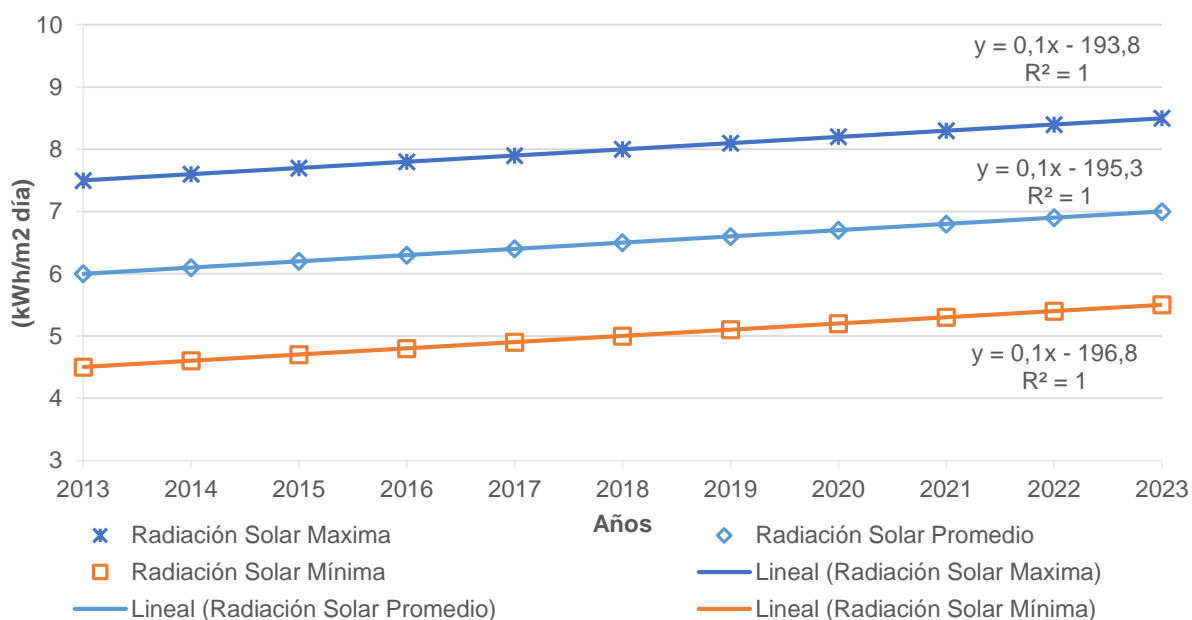
La estación meteorológica recopiló datos de radiación solar durante un período de 10 años, desde el 30 de agosto de 2013 hasta el 18 de agosto de 2023. Los promedios anuales de radiación solar fluctuaron entre 6 y 7 (kWh/m<sup>2</sup> día), siendo el año 2023 el que registró el promedio

más alto y el 2013 presente con los promedios más bajos. En cuanto a los valores diarios, los máximos cercanos a 800 W/m<sup>2</sup> se alcanzan al mediodía en los meses de febrero, julio y agosto, mientras que los mínimos, alrededor de 400 W/m<sup>2</sup>, se observan en las tardes de abril, mayo y noviembre, en este caso se debe mencionar que se recolecto datos de una fracción de ciclo, lo que indica una tendencia positiva, expuesta sobre la radiación solar, ver figura 9.

Esta tiene una influencia directa sobre el fenómeno de islas de calor urbana. Las zonas urbanas experimentan temperaturas más altas en comparación con las zonas rurales debido a varios factores relacionados con la radiación solar y las características de las áreas urbanizadas. Los materiales de construcción, como el asfalto y los edificios, absorben una gran cantidad de calor proveniente de la radiación solar. Además, la escasez de vegetación y áreas verdes impide la evaporación del agua y la disipación del calor. Los grandes edificios no solo absorben calor, sino que también bloquean el paso del viento, evitando que las ciudades se refresquen de manera natural. Por último, la contaminación atmosférica presente en las zonas urbanas atrapa la radiación solar y dificulta la disipación del calor.

**Figura 9**

*Grafica de relación tendencial de radiación solar en una década*



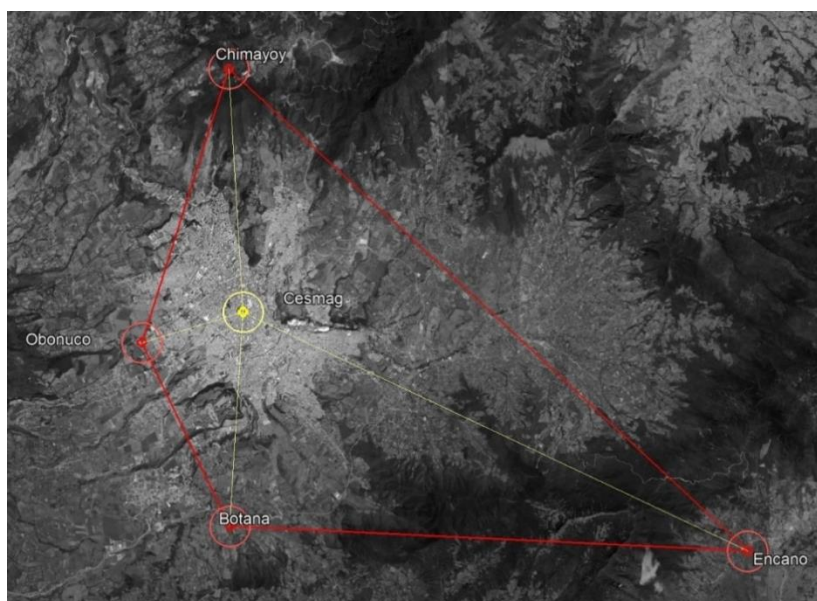
Fuente: Autoría propia

### **Análisis comparativo de condiciones ambientales: red de estaciones meteorológicas vs. estación de la Universidad CESMAG-sede centro**

Con el propósito de analizar la presencia del fenómeno de las islas de calor en los sectores urbanos de Pasto y su impacto se contrasta los hallazgos obtenidos de la red de estaciones y los datos de una estación meteorológica ubicada en áreas rurales. Esta comparación tiene como objetivo evaluar la existencia y magnitud del fenómeno de las islas de calor en la zona de estudio.

#### **Figura 10**

*Red estaciones meteorológicas para comparación de datos ambientales*



Fuente: Autoría propia.

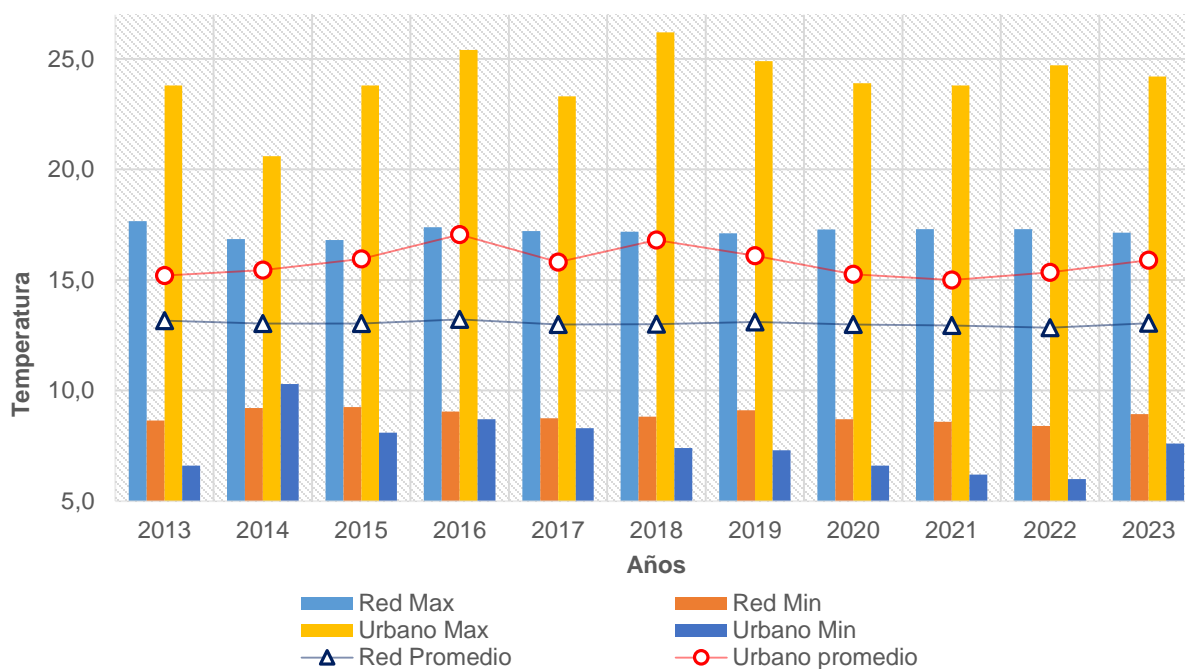
Las estaciones seleccionadas para el estudio fueron las estaciones meteorológicas de Chimayoy ( $1^{\circ}15'48.87''N$ ,  $77^{\circ}17'2.64''O$ ), Encano ( $1^{\circ}9'34.68''N$ ,  $77^{\circ}9'40.58''O$ ), Botana ( $1^{\circ}9'37.69''N$ ,  $77^{\circ}16'44.39''O$ ) y Obonuco ( $1^{\circ}12'2.29''N$ ,  $77^{\circ}18'1.63''O$ ). Estas ubicaciones, como se muestra en la figura 10, fueron elegidas para garantizar una medición uniforme de la temperatura a lo largo de una distribución espacial adecuada.

La temperatura máxima promedio registrada en todas las estaciones fue de  $17.7^{\circ}C$  en 2013, mientras que la mínima promedio alcanzó los  $8.4^{\circ}C$  en 2022. Este análisis anual de las temperaturas permite comprender la evolución de las condiciones climáticas en entornos rurales

y semirurales, con la ubicación geográfica jugando un papel clave. El promedio general de las temperaturas máximas y mínimas en la red de estaciones fue de 13.2 °C.

### Figura 11

*Registro de temperatura promedio por parte de la red de estaciones meteorológicas rurales vs sector urbano en Pasto*



Fuente: Autoría propia.

Al comparar las mediciones anuales de las estaciones meteorológicas en zonas urbanas y rurales, se observa una diferencia significativa en los promedios de temperatura entre ambos sectores. En la última década, el fenómeno de las islas de calor ha sido un componente clave en el aumento de las temperaturas en las zonas urbanas, alcanzando su mayor diferencia en 2016, cuando los promedios anuales mostraron un incremento de hasta 3,9°C en comparación con las zonas rurales. Esto demuestra que las áreas urbanas presentan un aumento considerable de temperatura, lo que puede tener un impacto de mediano a alto en el clima local, como se ilustra en la figura 11.

Sin embargo, es importante mencionar que las zonas urbanas también pueden registrar temperaturas más bajas en ciertos periodos debido a la interacción de variables como la radiación solar, la velocidad del viento y otros factores que generan microclimas específicos. Este

comportamiento sugiere que, aunque las islas de calor son recurrentes, el entorno urbano y rural de Pasto, en conjunto, puede generar procesos homeostáticos, lo que permite cierta regulación natural de la temperatura, gracias a la EEP (Estructura Ecológica Principal) y su influencia sobre el microclima local.

### **Protocolo de captura de medición de factores ambientales en campo, sobre las calles 18 y 19 de Pasto**

Según Hoyos Gómez (2021) el período de mayor radiación solar en Nariño se registra entre los meses de agosto a septiembre, alcanzando niveles de hasta 4,200 [W h/m<sup>2</sup>día] en agosto y 4,000 [W h/m<sup>2</sup>día] en septiembre, en comparación con un promedio anual de 3,500 [W h/m<sup>2</sup>día]. Esta información resulta crucial para analizar el fenómeno de las islas de calor en condiciones de máxima radiación solar, permitiendo una evaluación más precisa de las diferencias de temperatura y humedad relativa entre áreas con diversos grados de urbanización. Además, se obtiene una valiosa perspectiva sobre el comportamiento térmico de los materiales bajo condiciones de alta irradiación, aspecto fundamental para evaluar estrategias de mitigación. Para complementar este registro de información secundaria se realizó a través de mediciones propias la captura de variables ambientales como lo son la temperatura y humedad relativa in situ en el tramo de la carrera 18 y 19.

El protocolo utilizado para investigar las islas de calor urbanas se centró en la recopilación técnica y estandarizada de datos ambientales. Se utilizó un termo higrómetro digital (Ut333 de Unit-t) capaz de medir temperatura y humedad en un rango de 9m<sup>2</sup>. Se seleccionaron 45 puntos estratégicos a lo largo del corredor vial. Con el objetivo de capturar y representar de manera efectiva las características del área de estudio, en cada punto de muestreo, se llevaron a cabo tres recolecciones consecutivas por tramo de manzana con un tiempo total de 5 minutos para cada conjunto de 3 mediciones. Esto permitió calcular un promedio y suavizar las fluctuaciones momentáneas.

Las mediciones se realizaron entre las 12:30 y 13:30 horas para capturar con precisión el período de máxima exposición solar. Se tomó a una altura estandarizada de 1 metro sobre el nivel del suelo, optimizando así la captura de la radiación térmica del entorno. Además, se llevó a cabo mediciones tanto en áreas expuestas como bajo la influencia de la sombra proporcionada por árboles, lo que permitió una comparación significativa de diferentes microclimas.

Se empleó un diario de campo que sirve como una plantilla detallada y precisa para documentar cada medición, incluye campos clave como la fecha, hora, ubicación geográfica precisa y condiciones ambientales concurrentes. Los datos recopilados se sometieron a un análisis estadístico para identificar patrones y tendencias de alta relevancia. Los resultados obtenidos se utilizaron como base para realizar un diagnóstico con un alto rango de precisión de las condiciones térmicas; y evaluar la presencia y características de las islas de calor en el entorno urbano bajo investigación. Esta información se determina de mejor modo, en el diario de campo contenido en el anexo A.

### Registro de temperatura y humedad relativa obtenidas

De conformidad al protocolo de medición se realizaron mediciones de campo entre el 28 de agosto y el 1 de septiembre, obteniéndose un total de 450 datos de los cuales 225 corresponden a temperatura y 225 a humedad relativa.

Las temperaturas registradas oscilaron entre un mínimo de 21.3°C y un máximo de 24.5°C. De igual forma, los valores de humedad relativa variaron entre un mínimo del 39.4% y un máximo del 45.4%. Estos datos se presentan de manera desagregada en la Tabla 2, la cual detalla el ítem, la dirección, las coordenadas geográficas, hora, temperatura, porcentaje de humedad relativa y la variación para cada medición. Como se muestra en el diario de campo.

**Tabla 2**

*Registro de mediciones en campo de temperatura y humedad relativa recolectadas a través del protocolo de mediciones*

Sector	Dirección	Y	X	Hora	Temp	Hum R.	Variación T.	Variación H.
1	CALLE 18 ENTRE	11230.72	-771634.54	12:40	23,4	40,75	2,310	6,097
2	CARRERA 19-20	11232.54	-771635.36	12:41	23,32	40,29	2,329	6,216
3		11234.34	-771636.11	12:42	24,29	39,62	2,710	6,281
4	CALLE 18 ENTRE	11235.33	-771636.52	12:43	23,73	39,9	2,612	6,027
5	CARRERA 20-21	11237.37	-771637.40	12:44	22,72	41,09	2,137	5,336
6		11239.20	-771638.11	12:45	21,95	42,68	2,023	6,532
7	CALLE 18 ENTRE	11239.94	-771638.43	12:46	22,29	42,51	3,151	8,250
8	CARRERA 21-21A	11240.81	-771638.80	12:47	22,86	41,86	2,984	8,278
9		11241.83	-771639.22	12:48	22,77	42,03	2,498	6,719
10	CALLE 18 ENTRE	11242.47	-771639.44	12:49	23,09	41,45	3,033	7,682
11	CARRERA 21A-22	11243.20	-771639.78	12:50	22,94	41,33	3,164	7,785
12		11244.09	-771640.12	12:51	22,64	41,79	2,247	6,254
13	CALLE 18 ENTRE	11244.64	-771640.33	12:52	21,96	42,68	1,884	5,371
14	CARRERA 22-23	11245.71	-771640.76	12:53	22,5	42,31	2,524	6,857
15		11246.95	-771641.35	12:54	22,73	41,84	2,854	7,905
16	CALLE 18 ENTRE	11247.68	-771641.66	12:55	22,56	42,33	2,103	5,438
17	CARRERA 23-24	11248.78	-771642.09	12:56	21,98	43,19	2,365	6,753

Sector	Dirección	Y	X	Hora	Temp	Hum R.	Variación T.	Variación H.
18		11249.99	-771642.58	12:57	21,88	43,02	2,055	6,548
19	CALLE 18 ENTRE	11250.92	-771642.91	12:58	21,79	44,18	2,063	5,916
20	CARRERA 24-25	11251.98	-771643.33	12:59	23,07	41,73	2,989	7,316
21		11253.10	-771643.83	13:00	22,39	41,56	3,063	8,558
22	CALLE 18 ENTRE	11253.88	-771644.20	13:01	22,15	43,17	2,522	6,698
23	CARRERA 25-26	11254.98	-771644.70	13:02	22,58	42,51	2,969	7,055
24		11256.13	-771645.22	13:03	23,43	41,25	3,171	7,409
25	CALLE 18 ENTRE	11256.73	-771645.51	13:04	23,96	40,02	3,618	8,132
26	CARRERA 26-27	11257.90	-771645.94	13:05	23,33	40,57	3,216	7,331
27		11259.17	-771646.54	13:06	24,35	39,45	3,382	7,696
28	CALLE 18 ENTRE	1130.37	-771647.01	13:07	23,23	41,9	2,813	7,346
29	CARRERA 27-28	1131.59	-771647.53	13:08	23,54	41,22	3,179	8,461
30		1132.49	-771648.02	13:09	24,95	39,46	3,885	9,293
31	CALLE 18 ENTRE	1133.21	-771648.27	13:10	23,38	41,71	2,886	8,417
32	CARRERA 28-29	1134.28	-771648.75	13:11	22,87	42,21	2,604	7,554
33		1135.44	-771649.24	13:12	24,33	43,18	3,842	8,129
34	CALLE 18 ENTRE	1136.15	-771649.57	13:13	22,45	43,32	2,627	7,791
35	CARRERA 29-29A	1136.76	-771649.82	13:14	22,55	43,01	3,219	7,797
36		1137.35	-771650.08	13:15	22,29	43,09	3,030	7,591
37	CALLE 18 ENTRE	1137.83	-771650.32	13:16	22,31	43,08	2,835	7,219
38	CARRERA 29A-30	1138.32	-771650.52	13:17	22,41	43,45	2,687	7,993
39		1138.85	-771650.75	13:18	22,03	43,41	2,170	7,719
40	CALLE 18 ENTRE	1139.57	-771651.03	13:19	21,38	44,49	2,087	7,050
41	CARRERA 30-31	11310.38	-771651.39	13:20	21,31	45,18	2,022	7,305
42		11311.32	-771651.76	13:21	21,61	45,41	2,090	7,704
43	CALLE 18 ENTRE	11312.20	-771652.23	13:22	22,28	44,45	2,566	8,178
44	CARRERA 31-31C	11313.34	-771652.78	13:23	23,08	43,62	3,355	10,350
45		11314.60	-771653.24	13:24	22,32	44,71	3,217	10,262

Fuente: Autoría propia.

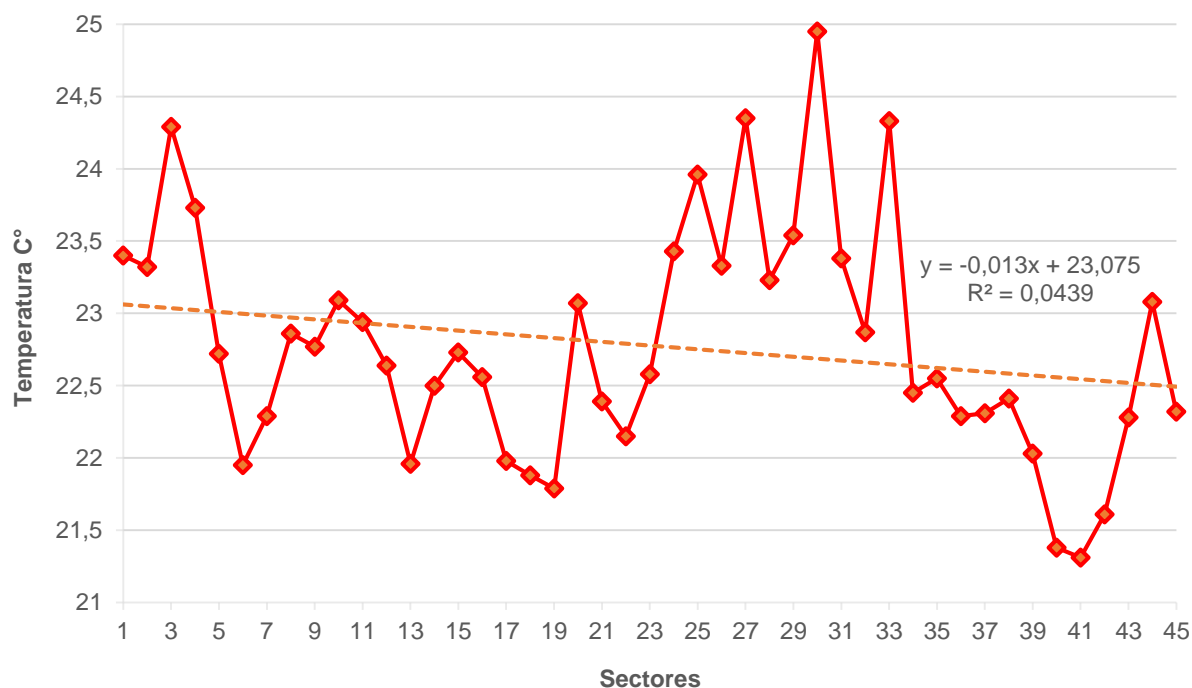
Las mediciones realizadas durante el período de registro proporcionan datos fundamentales para identificar áreas específicas con mayores temperaturas, revelando disparidades de temperatura promedio entre diferentes zonas, resultado de la presencia e impacto de las islas de calor urbanas.

Es crucial determinar los sectores más afectados, identificándose los sectores 1-5, 9-12, 20, 21, 24-34 y 44-45 como los más impactados. Para este análisis, se calculó la tendencia de temperatura del total del período registrado para todos los sectores y el promedio de mediciones por sector. Se identificó un rango de temperaturas entre 22,5 °C y 23 °C, mostrando diferentes categorías: vulnerabilidad baja (sectores con temperaturas por debajo de la tendencia, con mayor regulación térmica), vulnerabilidad media (sectores con temperaturas en el rango de la tendencia, que muestran factores que contribuyen tanto a la existencia como a la mitigación del fenómeno) y vulnerabilidad alta (sectores con temperaturas por encima de la tendencia, los más vulnerables al aumento del fenómeno).

Se calculó el promedio de temperatura en cada sector para minimizar las fluctuaciones. El valor más alto registrado fue de 25°C en el sector 30 (calle 18 y 19, entre carrera 28), mientras que el sector 41 (parque infantil) presentó la temperatura más baja, con 21.31°C. Este contraste sugiere una clara relación entre la presencia de vegetación, la cobertura vegetal y la temperatura. En el sector con menor temperatura, se estima empíricamente basado en los argumentos del marco teórico que la proyección de sombra generada por los árboles, la morfología urbana circundante y el uso adecuado de materiales desempeñaron un papel clave en la regulación térmica. Estos resultados se muestran con más detalle en la figura 12.

### Figura 12

*Recolección de datos de temperatura ambiental sobre la conexión norte-sur, bajo protocolo de medición*



Fuente: Autoría propia.

Existe una relación inversamente proporcional entre la temperatura y la humedad relativa. A medida que la temperatura aumenta, la humedad relativa tiende a disminuir, y viceversa: cuando la humedad es mayor, la temperatura tiende a bajar. Es crucial controlar este factor, ya que la falta de vegetación resulta en un ambiente más seco, creando una cadena de sucesos

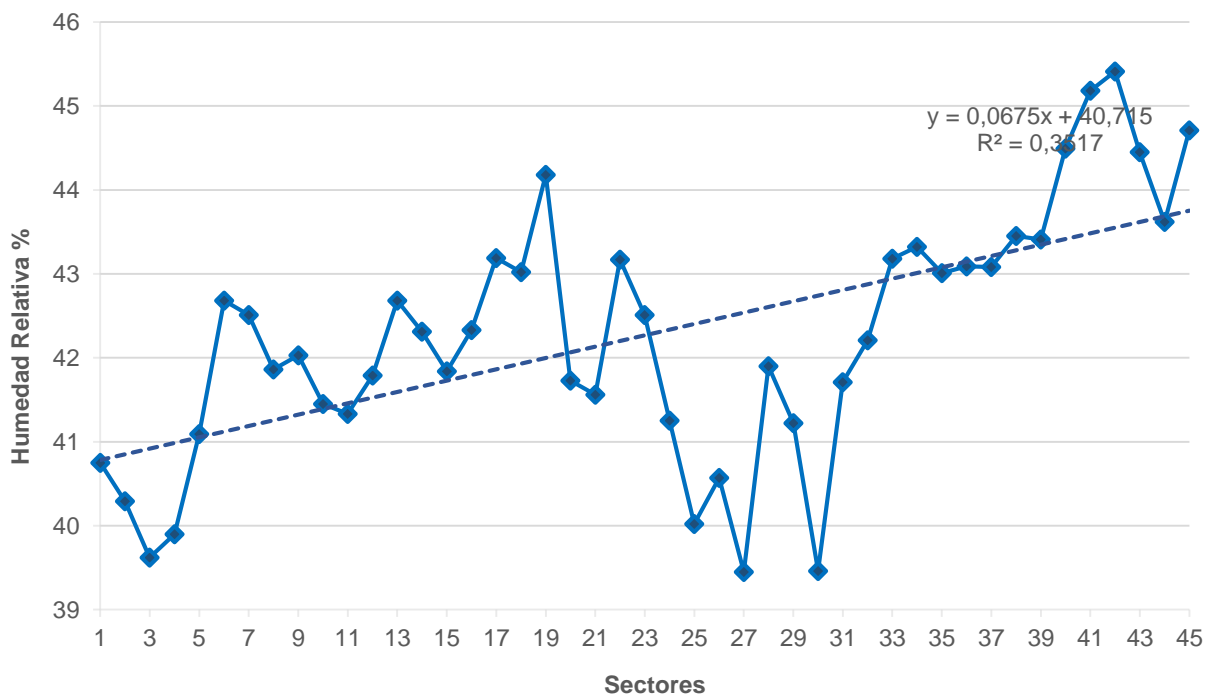


que contribuyen a un círculo vicioso que incrementa la temperatura y disminuye la humedad relativa. Los datos recolectados respaldan esta tendencia, determinando los valores presentes en un rango de humedad positiva entre el 41% y el 44%. Un ejemplo es el sector 30 (calle 18 y 19, entre carrera 28), que presenta la humedad relativa más baja con un 39,45%, mientras que el sector 41 (parque infantil) presenta la humedad relativa más alta con un 45,41%.

En el contexto de las islas de calor, la baja humedad relativa contribuye a la formación de ambientes más secos en áreas de alta temperatura, esto se muestra en la figura 13. Esta relación subraya la importancia de abordar y aumentar las bajas humedades para reducir la temperatura como parte de las estrategias de mitigación de las islas de calor urbanas. Esto se puede lograr mediante la adición de componentes arbóreos y suelos permeables. La combinación de temperaturas elevadas y baja humedad relativa puede tener efectos adversos en el bienestar y la calidad del medio ambiente.

### Figura 13

*Recolección de datos de humedad relativa ambiental sobre la conexión norte-sur, bajo protocolo de medición*



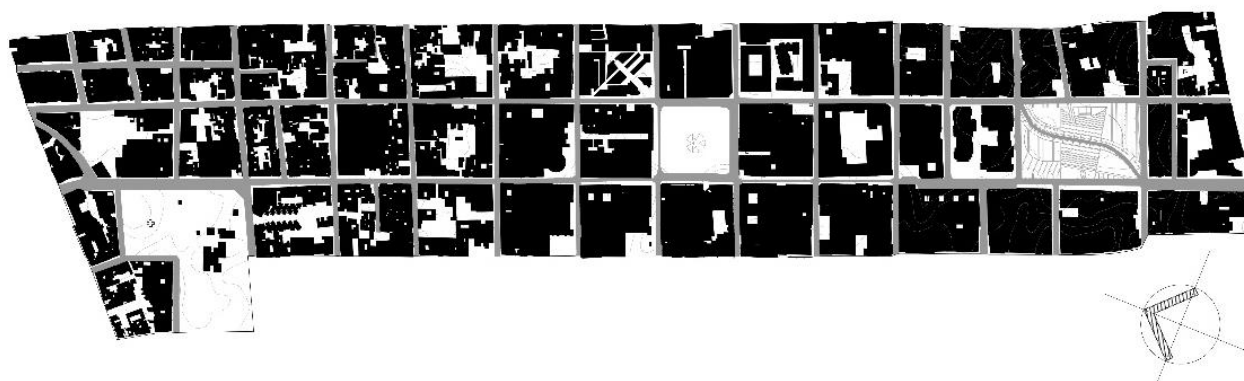
Fuente: Autoría propia.

## Análisis de la confortabilidad de los usuarios en el sector de estudio a partir de la comparación de variables ambientales y urbanísticas

Terminada la primera fase, se analizó integralmente el plano Nolli, áreas verdes, cobertura vegetal y topografía de la zona de estudio, variables que pueden incidir en la generación de islas de calor. Se emplean herramientas como los planos Nolli e identificar la importancia de atender las variables urbanísticas dentro de las estrategias pasivas de mitigación.

### Figura 14

*Plano Nolli de las calle 18 y 19*



Fuente: Autoría propia.

Con la caracterización individual de cada sector dentro del área de estudio mediante los planos Nolli, se profundiza significativamente en la comprensión de la dinámica que une los materiales empleados en las construcciones y los espacios no desarrollados. Esta información aporta la relación de elementos edificados (llenos) y las áreas sin edificar (vacío).

### Tabla 3

*Porcentaje de distribución de áreas entre llenos y vacíos de estudio*

Área de estudio	Condición urbana	Promedio Inercia Termina (Kj/Kg.°C)	Clasificación	Área M <sup>2</sup>	Porcentaje	Referencia
Total	Lleno	1325,12	Alta	280256	60,24%	
Total	Vacío	986,53	Medio	184976	39,76%	
Total general				465232	100%	

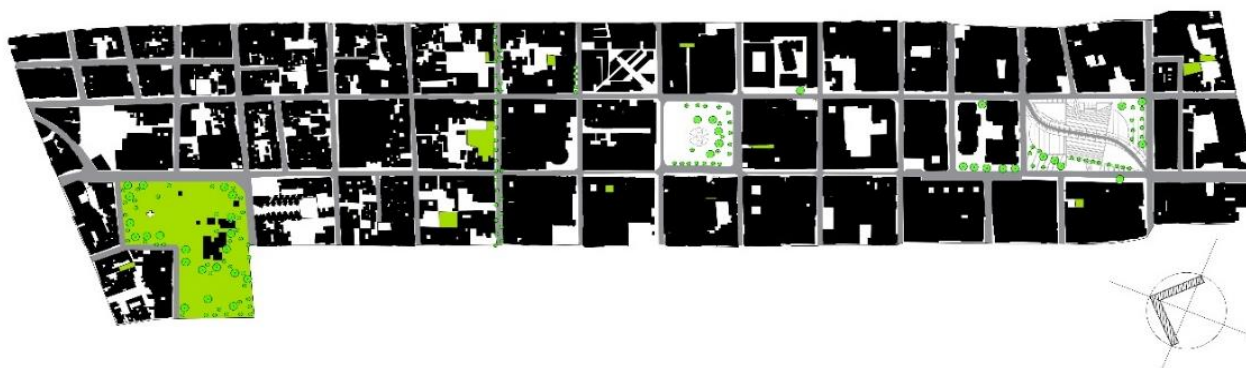
Fuente: Autoría propia.

A pesar de que la proporción entre lo lleno y lo vacío es del 60.24% y 39.76% respectivamente, es evidente que los espacios vacíos poseen una inercia térmica promedio de 986.53 (kJ/kg·°C), lo cual contrasta con los espacios construidos y muestra una diferencia a su favor de 11325.12 (kJ/kg·°C). Esto indica que los materiales presentes en ambos sectores potencialmente condicionan el área estudiada, proporcionando circunstancias para la generación del fenómeno en cuestión. El análisis detallado y la definición de estos materiales particulares se abordarán posteriormente en esta investigación.

Por otro lado, la cuantificación precisa de las áreas verdes en el contexto urbano emerge como un elemento esencial en el análisis integrado de las condiciones biofísicas y la cobertura vegetal. Esta dimensión adquiere una relevancia especial al enfocarse en la apreciación y evaluación de estos espacios naturales desde una perspectiva de desarrollo eficiente.

### Figura 15

*Porcentaje de Áreas verdes y cobertura vegetal sobre sector de estudio*



Fuente: Autoría propia.

A través de la cuantificación realizada en el sector de estudio, se determina que, aunque se hace uso de uno de los parques más grandes de Pasto y de sectores de bajo impacto a partir de áreas verdes, estos apenas representan un 5.98% del total, con una cobertura vegetal presente que contribuye únicamente hasta el 0.93%. Esto demuestra una proporción muy baja de estos espacios en relación con el área total, lo que condiciona el resto de las áreas, como las zonas duras, y promueve la aparición del fenómeno de las islas de calor debido al uso inadecuado de algunos materiales, esto se muestra en la figura 15.

Dentro de este análisis, se destaca la presencia de arboledas que cubren calles, plazas y parques en toda su extensión. Estas áreas verdes se integran a través del uso de diferentes

combinaciones de plazas y parques presentes en Pasto, incluyendo las dos plazas más importantes y uno de los parques con mayor afluencia. Además, los datos se presentan de manera más ilustrativa en la tabla 4.

**Tabla 4**

*Cuantificación de Áreas verdes y cobertura vegetal sobre sector de estudio*

Área Estudio	Aportación Ambiental	Clasificación	Unidades	Área M2	Porcentaje	Referencia
<b>Superficies verdes</b>	Césped	General	16	27843	5.98%	
<b>Cobertura vegetal</b>	Arboles	Pequeño-grande	158	4322	0.93%	
<b>Total general</b>				<b>32165</b>	100%	

Fuente: Autoría propia.

Dentro del análisis de áreas verdes, cobertura vegetal y condiciones biofísicas, la topografía adquiere un papel esencial, sobre todo al explorar las islas de calor en contextos urbanos. Las variaciones de altitud ejercen una influencia determinante sobre estos fenómenos térmicos, lo cual queda reflejado en la diferencia de altura observada en el área bajo estudio: una variación de 15 metros entre los puntos de mayor elevación (2534 metros) y los de menor (2519 metros). Aunque esta disparidad altitudinal pueda parecer modesta, su impacto podría generar microclimas específicos que influyen en las islas de calor y en su comportamiento variable. Dichas variaciones altitudinales inciden en la circulación del aire, la exposición solar y la retención de calor en diversas zonas urbanas. En dado caso, se recomienda enfocar esta variable como principal en investigaciones futuras.

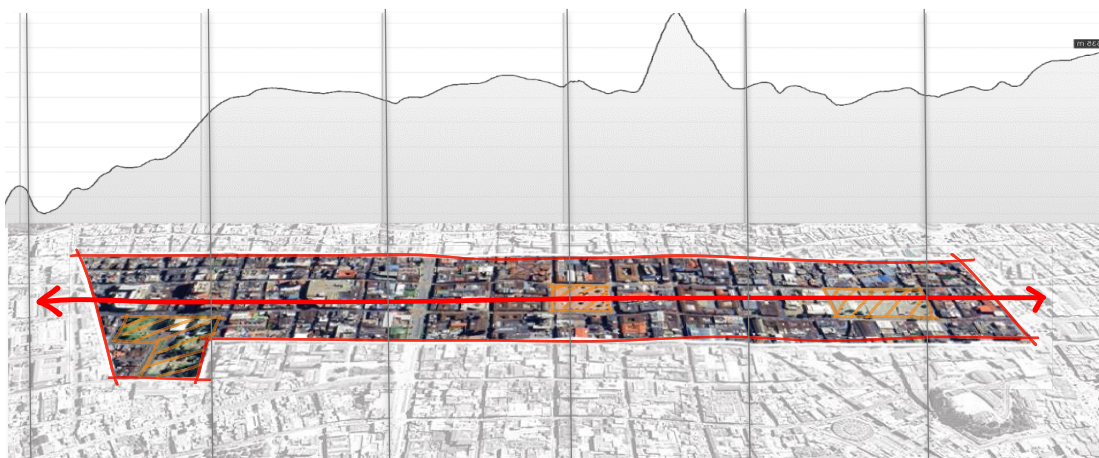
Las áreas más altas tienen la capacidad de enfriarse velozmente durante las noches gracias a las corrientes de aire direccionadas, mientras que las zonas más bajas retienen el calor debido a una menor ventilación, esto se puede determinar en la investigación desarrollada por Escobar (2018). Cabe resaltar que esta información se aprecia en la figura 16, donde se representa gráficamente la relación entre la topografía y las diferencias de altitud en el entorno estudiado.

Dicha figura otorga una perspectiva visual de la influencia de la topografía en la distribución térmica. Al combinar este análisis topográfico con la evaluación de áreas verdes,

cobertura vegetal y variaciones de la temperatura y humedad relativa se logra una visión holística de cómo estos elementos entrelazados moldean la formación de islas de calor urbanas.

### Figura 16

*Diferencia topográfica entre pico y valle, en la conexión norte-sur*



Fuente: Autoría propia.

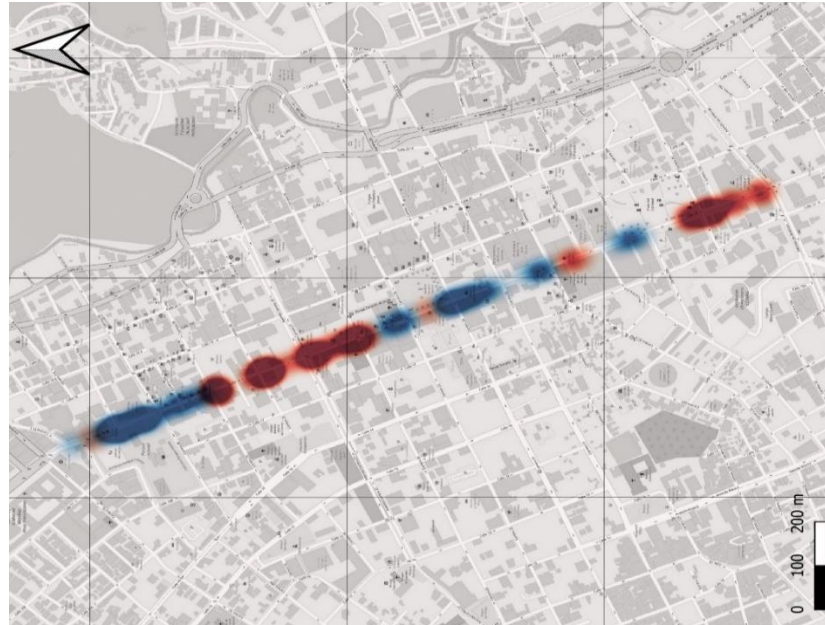
En segunda medida, se emplearon herramientas de Sistemas de Información Geográfica QGIS para generar mapas de calor basados en mediciones de temperatura y humedad relativa tomadas en ubicaciones específicas del área de estudio. El objetivo de esta exploración fue analizar la distribución espacial de estas variables ambientales y su influencia en el confort.

Los mapas generados permiten visualizar la variación espacial de los valores registrados de temperatura y humedad relativa en el área de estudio, empleando una escala cromática. En el caso de la temperatura, se utilizó una escala de rojo para representar valores que superaban en más de  $0.5^{\circ}\text{C}$  al promedio establecido de  $22.5^{\circ}\text{C}$ , llegando a registrar máximos de hasta  $2.5^{\circ}\text{C}$  por encima del promedio. Por otro lado, se emplearon rangos azules para representar valores por debajo de  $0.5^{\circ}\text{C}$  con respecto al promedio, con una diferencia mínima de  $2.5^{\circ}\text{C}$ , como se muestra en la figura 17.

En cuanto a la humedad relativa también se utilizaron rangos rojos y azules para representar valores por encima y por debajo del promedio, respectivamente. Los rangos de representación fueron de  $0.5\%$  a  $4.5\%$  por encima del promedio y de  $-4.5\%$  a  $-0.5\%$  por debajo del promedio. A través de la interpolación con un radio de alcance de 9 metros, los mapas permiten visualizar y comparar las áreas con temperaturas y humedad más altas y bajas en el entorno estudiado figura 18.

**Figura 17**

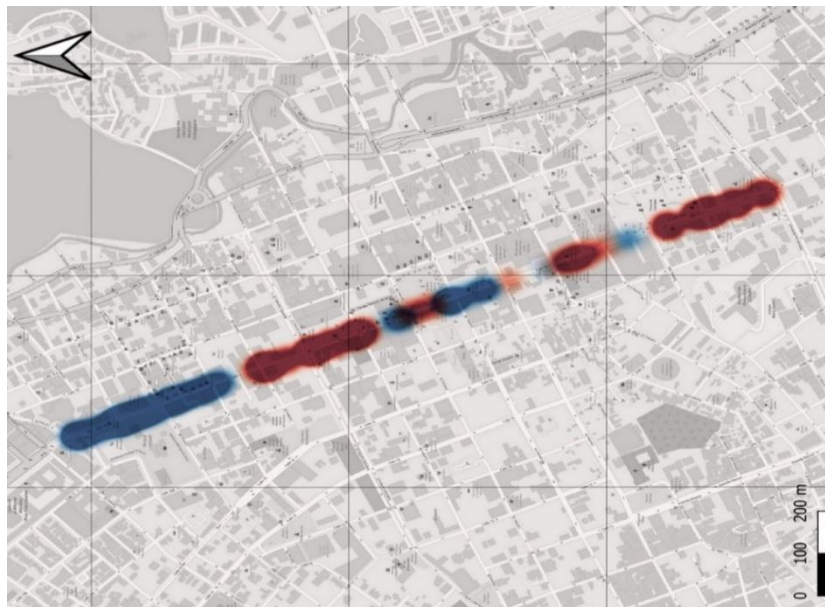
*Mapa de calor, registro de áreas de mayor afectación de temperatura*



Fuente: Autoría propia.

**Figura 18**

*Mapa de calor, registro de áreas de mayor afectación de humedad relativa*



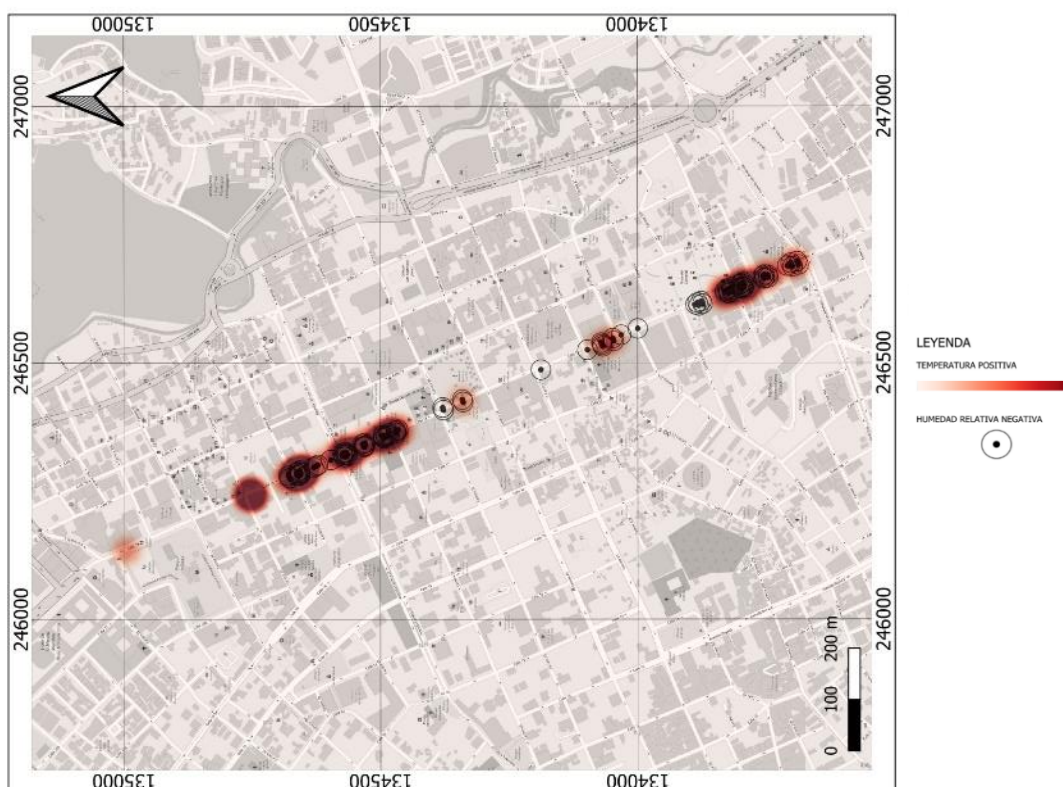
Fuente: Autoría propia.

### Análisis de correlación entre variables ambientales mediante un mapa de calor

Las altas temperaturas combinadas con baja humedad pueden tener graves implicaciones para la salud pública y el entorno urbano. Cuando los valores térmicos superan los niveles de confort y la humedad no cumple su función de regulación se corre el riesgo de afectar la salud de los habitantes y los ecosistemas urbanos. Este problema es especialmente agudo para grupos vulnerables como niños y adultos mayores. Además, la escasez de humedad aumenta el riesgo de incendios forestales, lo cual amenaza la biodiversidad. En la siguiente figura se observan los entornos que son propensos a perjudicar la confortabilidad de los espacios y las personas y que en consecuencia pueden desencadenar los efectos descritos anteriormente.

**Figura 19**

*Mapa de calor de temperatura elevada y humedad relativa baja*



Fuente: Autoría propia.

Los cuerpos no pierden calor con rapidez, lo que reduce la necesidad de calefacción y refrigeración para mantener la comodidad de los habitantes. Estos gastos energéticos, de

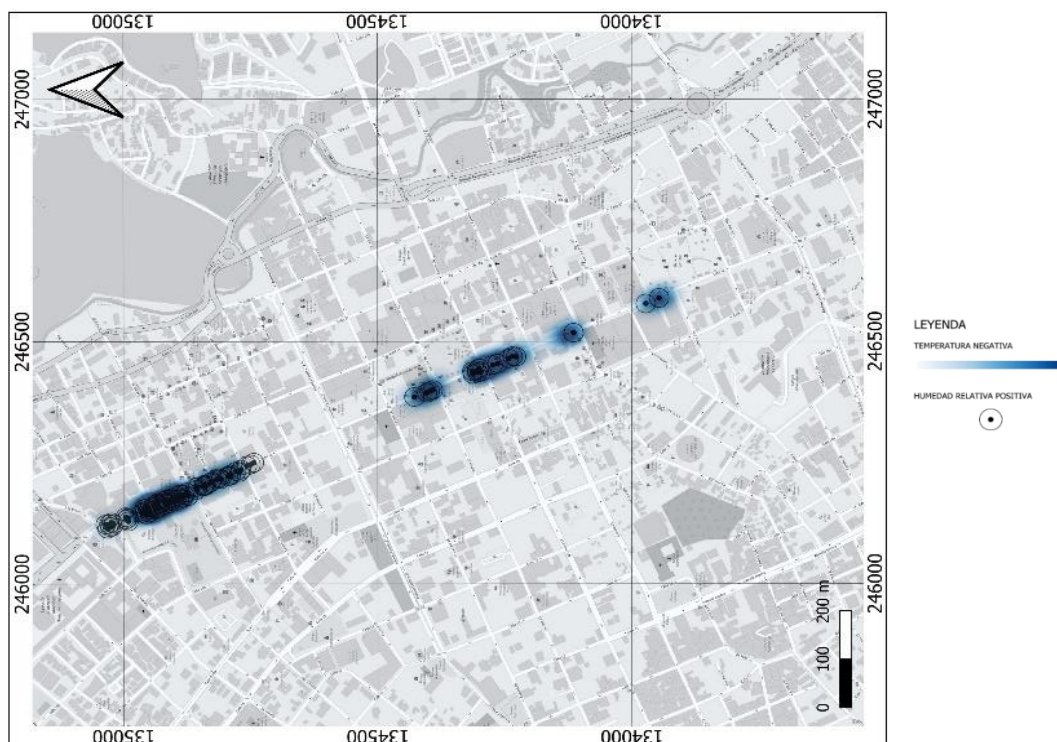
manera conjunta, tienen un impacto considerable. A medida que los espacios urbanos dejan de ser confortables, las viviendas que forman parte de estos conjuntos se ven afectadas negativamente. Además, el uso inadecuado de materiales no permeables reduce la retención de humedad, lo que desfavorece los ecosistemas urbanos.

Para mejorar el confort en los espacios urbanos, es esencial utilizar materiales permeables y tecnologías avanzadas en sistemas de climatización y ventilación. La implementación de estos sistemas no solo reduce el consumo de energía, sino que también minimiza la huella de carbono asociada con el uso excesivo de calefacción y refrigeración.

En contraposición, condiciones de baja temperatura, pero alta humedad relativa, aunque pueden favorecer la proliferación de hongos y enfermedades respiratorias, tienen un efecto equilibrante en términos de consumo energético en áreas urbanas, como se observa en el mapa de calor de la figura 20.

### Figura 20

*Mapa de temperatura baja y humedad relativa elevada*



Fuente: Autoría propia.



Ahora bien, la aplicación del diagrama de Olgay en los sectores de intervención permite definir estrategias para alcanzar el confort térmico en cada área de la manzana. En la Tabla 5 se detallan intervenciones recomendadas, destacando el uso de sombra como un principio clave para mitigar altas temperaturas al reducir la absorción de radiación solar directa y mejorar el confort térmico en zonas urbanas densamente edificadas.

El diagrama enfatiza la importancia de controlar temperatura y humedad. La adición de humedad, a razón de 1 g por kg de aire, se logra mediante la evaporación de la cobertura vegetal, creando un microclima más fresco. Además, se resalta la correlación inversa entre temperatura y humedad relativa, subrayando la necesidad de incrementar la humedad para reducir sensaciones térmicas elevadas. Las corrientes de viento son cruciales para la renovación del aire y la dispersión del calor. Las velocidades del viento, medidas en m/s. Al optimizar estos elementos con estrategias de sombra y ventilación, se logra reducir temperaturas y mejorar el confort térmico.

Los resultados se expresan en rangos debido a las limitaciones del modelo de Olgay, que opera con aproximaciones según variables dinámicas como viento, humedad y temperatura.

**Tabla 5**

*Estrategias planteadas por sector según diagrama de Olgay*

<b>Sector</b>	<b>Dirección</b>	<b>Hemisferio</b>	<b>Sombra</b>	<b>Humedad (1g De Humedad Por 1kg De Aire)</b>	<b>Viento (M/S)</b>
<b>1,2,3</b>	<b>Calle 18 Entre Carrera 20-21</b>	Superior	X	0,5 A 1,0	0 A 1
<b>4,5,6</b>	<b>Calle 18 Entre Carrera 20-21</b>	Superior	X	0 A 0,5	0 A 1
<b>7,8,9</b>	<b>Calle 18 Entre Carrera 21-21a</b>	Superior	X	0 A 0,5	0 A 1
<b>10,11,12</b>	<b>Calle 18 Entre Carrera 21a-22</b>	Superior	X	0,5	0 A 1
<b>13,14,15</b>	<b>Calle 18 Entre Carrera 22-23</b>	Superior	X	0,5 A 1,0	0 A 1
<b>16,17,18</b>	<b>Calle 18 Entre Carrera 23-24</b>	Superior	X	0 A 0,5	0 A 1
<b>19,20,21</b>	<b>Calle 18 Entre Carrera 24-25</b>	Superior	X	0 A 0,5	0 A 1
<b>22,23,24</b>	<b>Calle 18 Entre Carrera 25-26</b>	Superior	X	0 A 0,5	0 A 1
<b>25,26,27</b>	<b>Calle 18 Entre Carrera 26-27</b>	Superior	X	1 A 1,5	2 A 3
<b>28,29,30</b>	<b>Calle 18 Entre Carrera 27-28</b>	Superior	X	1,5 A 2	5
<b>31,32,33</b>	<b>Calle 18 Entre Carrera 28-29</b>	Superior	X	1,5 A 2	3 A 4
<b>34,35,36</b>	<b>Calle 18 Entre Carrera 29-29a</b>	Superior	X	0,5 A 1	1
<b>37,38,39</b>	<b>Calle 18 Entre Carrera 29a-30</b>	Superior	X	0 A 0,5	0 A 1

40,41,42	Calle 18 Entre Carrera 30-31	Superior	X	0 A 0,5	0 A 1
43,44,45	Calle 18 Entre Carrera 31-31c	Superior	X	1	1 A 2

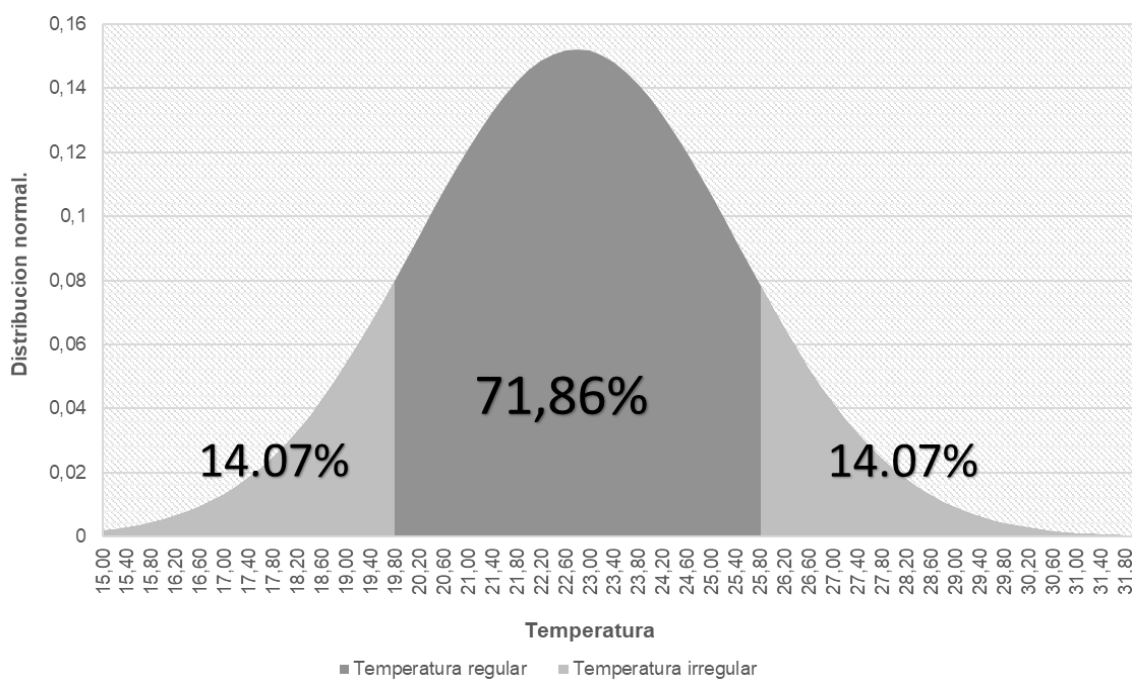
Fuente: Autoría propia.

A través de la representación gráfica de una distribución normal mediante la campana de Gauss, una herramienta estadística que organiza los datos de una muestra en una curva simétrica, se facilita la interpretación de las mediciones obtenidas en el campo de estudio. Con la campana de Gauss se identificaron las áreas que podrían estar más afectadas en términos de confort, alineándose con el modelo y estándares de Olgyay, esto se puede ver en la figura 21.

En una primera evaluación, se analiza la situación de manera integral a través del gráfico, brindando una visión panorámica de las áreas potencialmente comprometidas, esta representación demuestra que existe una probabilidad del 14,07% de que la temperatura supere los límites establecidos para un rango de confort. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis más detallado, proporcionando datos estadísticos que reflejen la probabilidad de que ciertas condiciones estén fuera del área de confort, ver tabla 6.

### Figura 21

*Porcentaje de área por fuera del área de confort para la temperatura*



Fuente: Autoría propia.

**Tabla 6**

*Sectores y su probabilidad de exceder la temperatura en el rango fuera del confort según distribución normal*

<b>Sector</b>	<b>T. promedio</b>	<b>T. desviación estándar</b>	<b>T. Max</b>	<b>T. Min</b>	<b>Probabilidad de confort o menor</b>	<b>Probabilidad de superar el confort</b>
1,2,3	23,6700	2,31915933	27,2	20,3	78,50%	<b>21,50%</b>
4,5,6	22,8000	2,234390297	26,7	19,1	88,66%	<b>11,34%</b>
7,8,9	22,6400	2,689144845	27,3	19,1	85,62%	<b>14,38%</b>
10,11,12	22,8900	2,639954004	27,8	18,8	83,86%	<b>16,14%</b>
13,14,15	22,3967	2,296306558	27	19	91,17%	<b>8,83%</b>
16,17,18	22,1400	2,040588151	25,8	18,4	95,02%	<b>4,98%</b>
19,20,21	22,4167	2,596747049	26,5	18,8	88,25%	<b>11,75%</b>
22,23,24	22,7200	2,740815833	26,8	18,8	84,48%	<b>15,52%</b>
25,26,27	23,8800	3,186343628	29	19,2	69,44%	<b>30,56%</b>
28,29,30	23,9067	3,171686497	30,3	19,2	69,23%	<b>30,77%</b>
31,32,33	23,5267	2,987764732	29,6	19	74,55%	<b>25,45%</b>
34,35,36	22,4300	2,750895958	27,4	18,5	86,78%	<b>13,22%</b>
37,38,39	22,2500	2,394338561	26,1	18,6	91,27%	<b>8,73%</b>
40,41,42	21,4333	1,917929191	24,2	18,2	98,30%	<b>1,70%</b>
43,44,45	22,5600	2,863514324	28,1	18,1	84,77%	<b>15,23%</b>

Fuente: Autoría propia.

El área total evaluada en este estudio abarca 25.847 m<sup>2</sup>, distribuidos en 12.458 m<sup>2</sup> para carriles vehiculares, 5.475 m<sup>2</sup> de aceras y 7.568 m<sup>2</sup> de zonas peatonales. Esta segmentación inicial permite identificar las proporciones de espacio utilizadas para diferentes funciones urbanas, lo que es clave para comprender cómo interactúan con el microclima local. En particular, se delimitaron las áreas de permanencia, que incluyen plazas, plazoletas y parques, donde los peatones tienden a quedarse por períodos prolongados. Estas áreas, destinadas tanto a actividades activas como pasivas, abarcan 6.465 m<sup>2</sup> en plazas, 475 m<sup>2</sup> en plazoletas y 1.568 m<sup>2</sup> en parques, lo que resalta su papel como espacios sociales y de esparcimiento.

Se observó que aunque algunos sectores, como el parque infantil, presentan una alta proporción de áreas verdes, otras plazas carecen de una cantidad significativa de vegetación. Esto limita su capacidad para mitigar el calor, ya que las áreas verdes son esenciales para regular el microclima y reducir el efecto de las islas de calor. En las áreas de transición, que incluyen las aceras, se identificaron 15 árboles a lo largo de las aceras longitudinales y 8 árboles en las transversales.

El análisis de las edificaciones y su proyección de sombra destacó la influencia de la morfología urbana, particularmente en las áreas donde se preserva la geometría patrimonial

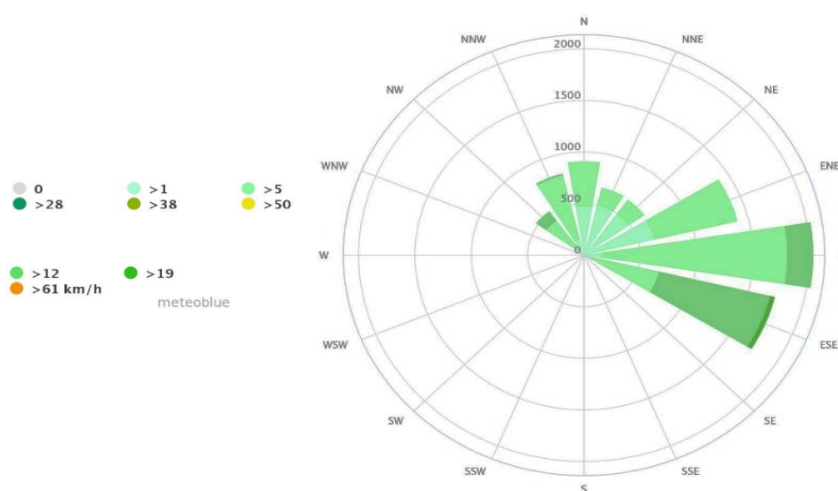
establecida por las Leyes de Indias. La combinación de la geometría urbana, las alturas de los edificios y la orientación solar genera sombras que favorecen la ventilación cruzada y la renovación del aire, ayudando a disminuir la temperatura en los espacios urbanos. La altura de los edificios juega un papel importante en este proceso, ya que su correcta disposición puede mejorar la eficiencia térmica y reducir la acumulación de calor en las manzanas urbanas.

Los resultados, en su mayoría derivados de la rosa de los vientos y corroborados a través de mediciones propias, determinaron que la dirección predominante del viento es del este y sureste, alcanzando una velocidad promedio anual de 4 m/s, como se muestra en la figura 22. Este patrón de viento, junto con la proyección de sombras, proporciona una oportunidad para optimizar la ventilación natural en los espacios urbanos.

Adicionalmente, se emplearon simulaciones de túneles de viento utilizando herramientas como Flowillustrator para estudiar cómo los corredores de viento podrían aprovecharse para mejorar la eficiencia energética y el confort en estos entornos. Las simulaciones revelaron cómo las dinámicas del flujo de aire, la vorticidad y las zonas de separación del flujo influyen en el diseño urbano, permitiendo una mejor planificación de los espacios públicos y las edificaciones. Estas técnicas ofrecen ventajas para minimizar las zonas de alta presión y turbulencia, lo que se refleja en la figura 23.

### Figura 22

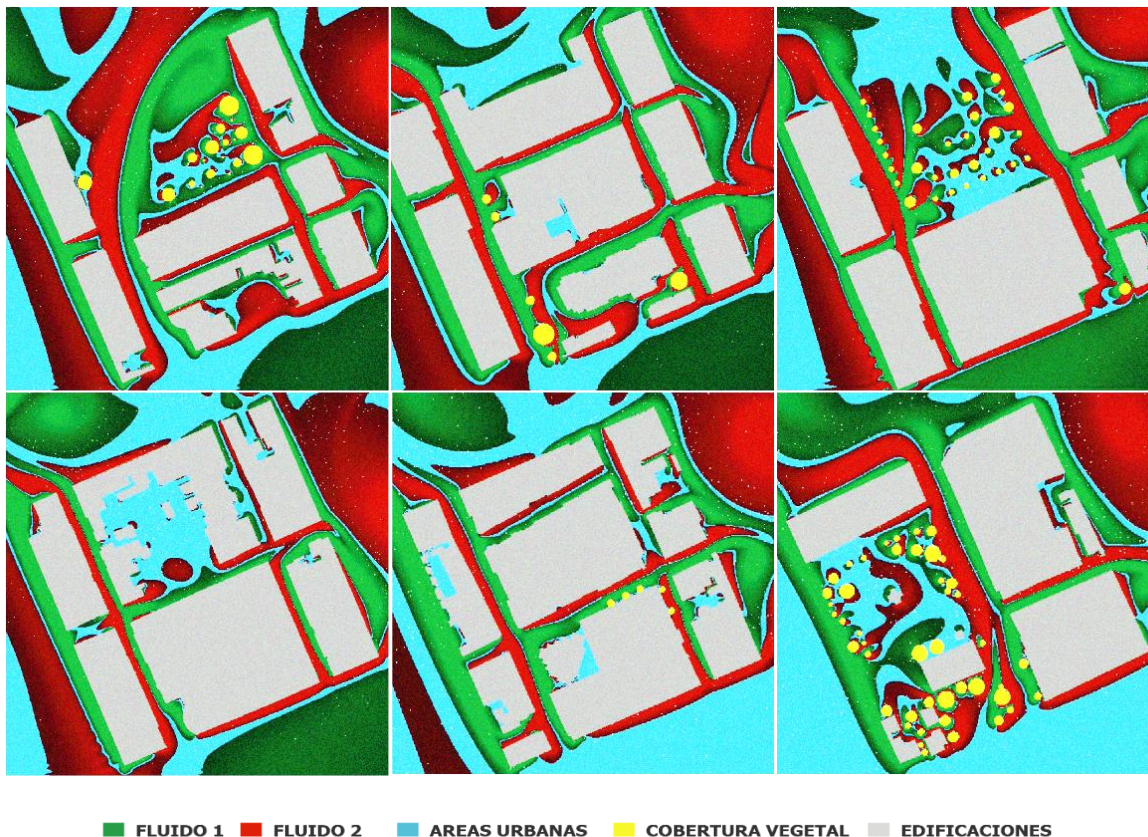
*Rosa de los vientos, muestra la dirección de viento predominante en el periodo de agosto y septiembre*



Fuente: Autoría propia.

**Figura 23**

*Simulaciones corrientes de aire, siguiendo la geometría urbana, bajo túnel de viento (CFD)*

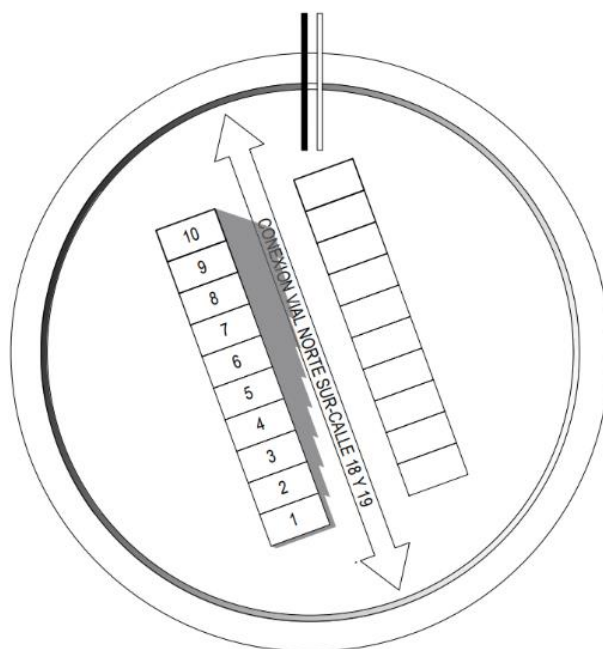


Fuente: Flowillustrator y simulaciones por autoría propia.

Con relación a la morfología de alturas, se identificaron dos sectores a lo largo de la conexión Norte-sur, uno dentro del Plan Especial de Manejo del Patrimonio (PEMP) y otro por fuera de éste. Cada sector puede experimentar cierto crecimiento urbano en altura, pero el del PEMP debe seguir lineamientos más restrictivos, mientras que el otro sector tiene restricciones menos exigentes. El análisis reveló que la infraestructura edificatoria existente es un factor determinante en la poca proyección de sombra acumulativa sobre los espacios urbanos. Esto resulta en una prolongada exposición solar en algunas áreas. La información recopilada, que incluye aspectos como la disposición de la dirección de las edificaciones en relación con los puntos cardinales, los distintos niveles de pisos a lo largo de la conexión y la relación entre altura y proyección de sombra eficaz por área, la cual se ilustra de manera más clara en la figura 24.

### Figura 24

*Representación de sombra por altura de edificación y su dirección cardinal*



Fuente: Autoría propia.

Se midieron variables ambientales in situ en un sector urbano con el fin de analizar la cobertura de sombra generada por la altura de los edificios. Los resultados mostraron que solo el 2,41% del área urbana estaba cubierta por sombra, lo que sugiere que, en los periodos de mayor exposición a la radiación solar, el sector presenta una gran vulnerabilidad y carece significativamente de elementos que proporcionen enfriamiento. Es importante señalar que este método solo mide la relación directa del ambiente en el periodo establecido en el protocolo de mediciones, por lo que los hallazgos se relacionan con las zonas más susceptibles al fenómeno de las Islas de Calor Urbano (ICU). Como se detalla en la Tabla 7, este cálculo se realizó a través del uso de SketchUp y se determinó una relación por altura de las edificaciones existentes en cada sector y su sombra proyectada sobre los espacios urbanos, esto se realizó cuando el azimut solar estaba en su punto más alto y perpendicular a las superficies estudiadas, organizando las áreas según su proyección de sombra.

Con respecto a la influencia de la volumetría de las edificaciones en la proyección de sombra se realizó un análisis sobre la relación entre las restricciones de altura establecidas por las normativas urbanas. Las áreas dentro del Plan Especial de Manejo del Patrimonio (PEMP)

presentan desafíos particulares para la intervención debido a sus niveles de conservación, mientras que fuera del PEMP se aplican restricciones que respetan los límites establecidos. En general, se observa una restricción media de alrededor de 50 cm en voladizos y retranqueos obligatorios a partir de los 5 pisos en las edificaciones.

Esto permite la generación de sombra, actuando como parasol y reduciendo drásticamente la temperatura en la base de las edificaciones o en áreas cercanas. Estas condiciones podrían mejorarse al incorporar otros elementos arquitectónicos que proporcionen una mayor acumulación de sombra eficaz. En conclusión, se determina que las influencias en las áreas urbanas son moderadas en términos de proyección de sombra.

**Tabla 7**

*Relación sombra existente en sectores urbanos con el azimut máximo, provocado por la altura de edificaciones*

Sector	Sombra m2	Relación	% Total
14	25,2	0,267	0,0020
15	18,8	0,193	0,0015
13	4,6	0,106	0,00037
10	7,6	0,129	0,00061
12	8,2	0,149	0,00066
2	11,7	0,133	0,00095
11	13,3	0,165	0,0010
6	13,4	0,143	0,0010
3	14,0	0,166	0,0011
9	18,1	0,193	0,0014
1	18,8	0,158	0,0015
7	25,2	0,267	0,0020
5	27,1	0,236	0,0022
8	28,0	0,304	0,0022
4	29,6	0,191	0,0024
<b>Total de sombra proyectada</b>	244,5		<b>2,41%</b>

Fuente: Autoría propia.

Finalmente, con respecto a la composición de superficies y materiales prevalentes en el área se realizó una caracterización minuciosa de los materiales y su distribución en cada sector. Esta representación detallada se muestra en la figura 25, donde ilustra la correlación en área de los materiales de mayor impacto dentro del sector, como el asfalto, el concreto y la teja de barro. También en la tabla 8, se muestra el valor de inercia térmica y el porcentaje de albedo. De este modo se indica la relación entre el área de superficie de un material predominante y el coeficiente de inercia térmica por área, que ayuda a comprender su contribución al fenómeno de islas de

calor a través de los materiales predominantes en el sector y dictamina una relación entre el aumento de temperatura y el uso de materiales con características desfavorables en sus propiedades físicas.

### Figura 25

*Composición de superficies y materiales prevalentes sobre el total del sector*



Fuente: Autoría propia.

### Tabla 8

*Composición de superficies y materiales prevalentes sobre el total del sector de estudio, área, porcentaje e inercia térmica*

Sector	Materiales	Inercia Térmica (J/M <sup>2</sup> k <sup>(1/2)</sup> )	Clasificación	Área M <sup>2</sup>	Porcentaje	Referencia
Total Sector Estudiado	Adoquín	1264,9	ALTO	22687	6,11	
	Asfalto	1294,7	ALTO	68092	18,35	
	Concreto	1122,55	ALTO	80552	21,71	
	Eternit	774,6	MEDIO	77502	20,89	
	Policarbonato	848,5	MEDIO	24874	6,70	
	Teja Barro	894,4	MEDIO	69796	18,81	
	Teja Termo Acústica	669,3	BAJO	19816	5,34	
	Zinc	1329,6	MEDIO	7716	2,08	
<b>Total general</b>				371035		

Fuente: Autoría propia.






**Definir estrategias de mitigación pasiva respaldadas por simulaciones ambientales, con el objetivo de minimizar los efectos que favorecen la aparición de islas de calor urbano. Urbano**

Las estrategias de mitigación se fundamentan en el modelado de sectores seleccionados mediante simulaciones realizadas con Rhino, Grasshopper y el complemento Ladybug. Estas estrategias consideran la exposición solar a lo largo del día, la radiación solar acumulada y el microclima resultante. Además, analiza la proyección de sombra generada, los valores de inercia térmica y albedo de los materiales, y su relación con la temperatura acumulada. En el modelo desarrollado para la simulación de islas de calor urbanas se contemplan tres conceptos clave para entender mejor las condiciones de temperatura: los espectros de temperatura relacionados con la acumulación de calor o la reducción potencial de temperatura a través de la sombra. Los espectros se representan en un rango de colores, desde el azul al naranja como se muestra en la tabla 9.

**Tabla 9**

*Rangos de temperatura mostrado en rangos de color de vulnerabilidad baja, media y alta*

<b>Tipo de vulnerabilidad</b>	<b>Rango inicial</b>	<b>Rango final</b>	<b>Rango</b>
<i>Baja</i>	20°C -Azul	22°C -Purpura	
<i>Media</i>	22°C -Purpura	24°C -Naranja	
<i>Alta</i>	24°C -Naranja	26°C -Naranja	

Fuente: Autoría propia.

A este respecto, las estrategias de mitigación del fenómeno de las islas de calor y la reducción de temperatura lograda por la vegetación y la morfología de los edificios que proporcionan sombra se definen mediante diferentes niveles de sombra: sombra difusa con una reducción acumulativa de temperatura de 1 °C, sombra media con una reducción acumulativa de 2 °C, y sombra concentrada capaz de reducir la temperatura hasta 4 °C acumulativamente. Así, se genera un modelo donde la suma de estas unidades de sombra resulta en una reducción

máxima de temperatura de 4 °C en el área estudiada. La metodología se centra en la comparación de la eficacia de diversos parámetros establecidos. La primera estrategia es la proyección de sombra mediante arborización, analizando el volumen de cobertura vegetal, la relación altura del tronco, la densidad de cobertura y la distancia entre árboles.

La segunda estrategia implica estudiar componentes urbanos para reducir la temperatura en zonas urbanas, equilibrando altura, sombra, renovación de aire y las restricciones del POT. Se propone el cambio de materiales de las cubiertas de las edificaciones para finalmente, analizar la inercia térmica y albedo de los materiales, evaluando su cambio y efecto en la temperatura acumulada. Los sectores donde se aplican las estrategias pasivas de mitigación se organizan en seis combinaciones, correspondientes a tres niveles de vulnerabilidad (alta, media, baja) para áreas tanto incluidas en el PEMP (Plan Especial de Manejo y Protección del Patrimonio) como para las que no lo están. Esto facilita ajustar las intervenciones según el nivel de exposición térmica y la clasificación patrimonial de cada sector: PEMP (alta, media, baja) y No PEMP (alta, media, baja).

### ***Eficiencia de la altura de la copa en arborización urbana***

El uso de árboles en entornos urbanos requiere una consideración cuidadosa de las dimensiones específicas de cada árbol, especialmente en áreas con restricciones de uso. En perfiles urbanos que bordean aceras, la utilización de árboles de tronco bajo puede obstaculizar la visión y locomoción de los transeúntes, lo que limita su ubicación.

En relación con la proyección de sombra, es crucial considerar que los árboles con alturas significativas pueden perder eficacia durante ciertos períodos del día. Por ejemplo, en la mañana y la tarde, la luz solar penetra por los laterales con ángulos pronunciados, lo que reduce la sombra y permite que la energía solar se acumule en la base del árbol.

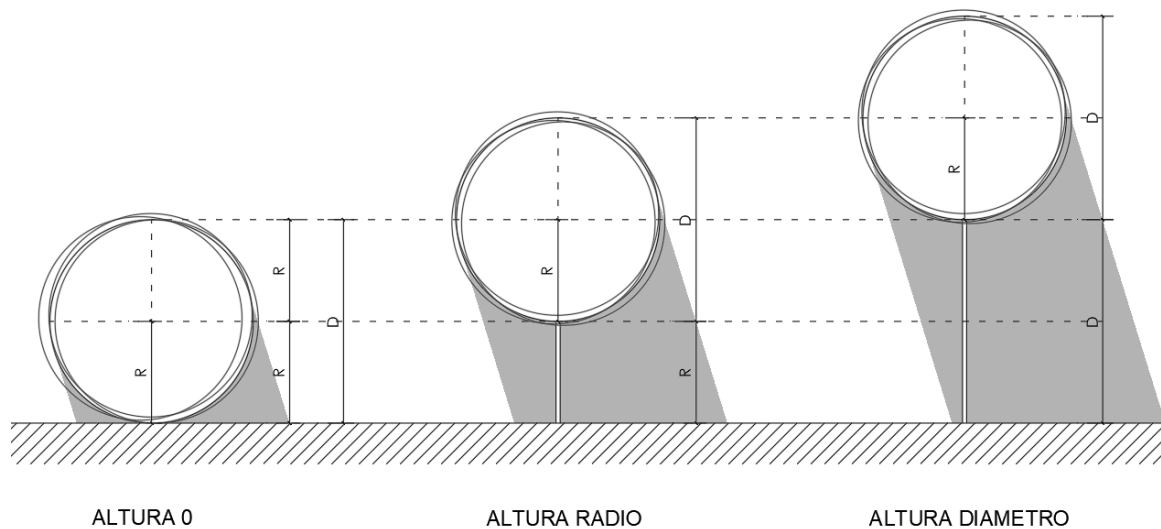
Se evaluó la eficacia de diferentes alturas de tronco a través de simulaciones. Se establecieron tres categorías: baja, donde la altura del tronco es cero; media, correspondiente al radio del volumen de la esfera; y alta, equivalente al diámetro del volumen de la esfera, esto se muestra de mejor modo sobre la figura 26. Los resultados mostraron que la altura baja ofrece el mayor contenido de sombra efectiva, mientras que las alturas media y alta tienen un comportamiento similar. En particular, se determinó que la arborización de copa baja es un 47.45% más efectiva que la de copa media y un 50.57% más efectiva que la de copa alta. Estos hallazgos indican una diferencia significativa entre la copa baja y las otras dos categorías, y una

gran similitud entre copa media y alta en términos de proyección de sombra efectiva y reducción de temperatura.

Los resultados detallados de estas evaluaciones pueden encontrarse en el Anexo B, *Proporción de sombra efectiva en entornos urbanos*. Esta información es crucial para la planificación urbana, ya que demuestra la importancia de seleccionar adecuadamente la altura del tronco de los árboles para maximizar la sombra efectiva y mitigar la acumulación de energía solar en áreas urbanas.

### Figura 26

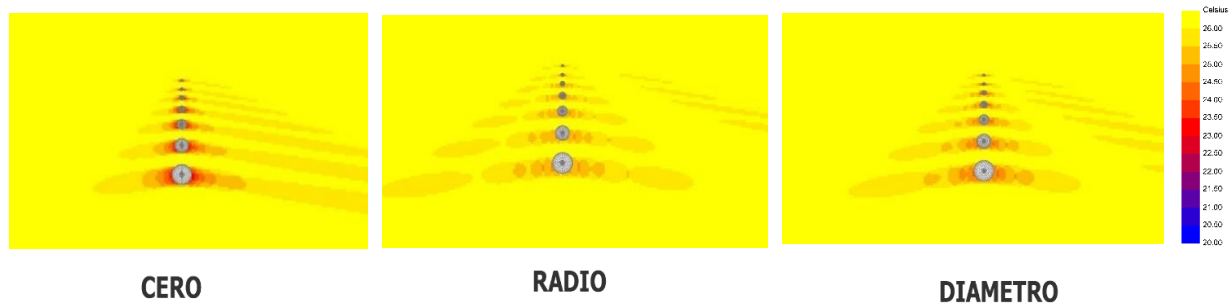
Diagrama explicativo, diferencias entre unidades arbóreas según la correlación de sus distancias



Fuente: Autoría propia.

### Figura 27

Eficacia de cobertura vegetal sobre proyección de sombra vs altura de tronco



Fuente: Autoría propia.

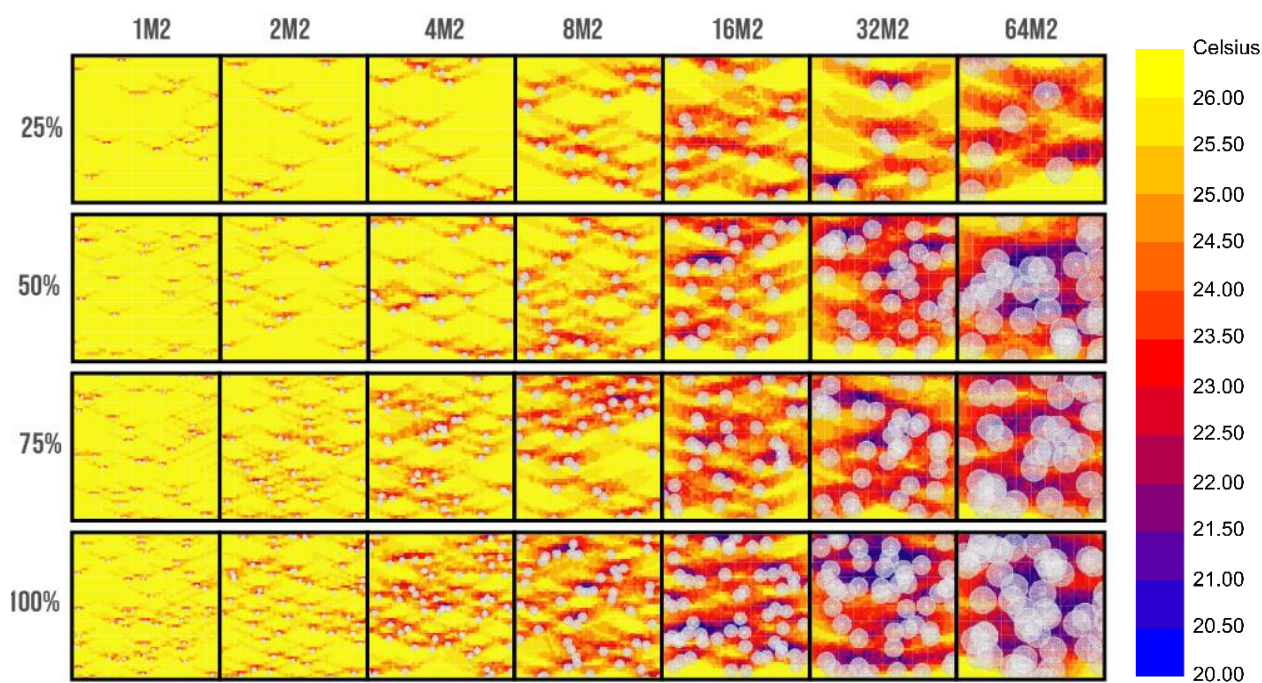
### ***Eficacia de la arborización en proyección de sombra versus densidad arbórea***

Se utilizó SketchUP como herramienta de modelado para crear rejillas de 100 m x 100 m (10,000 m<sup>2</sup>) en las que se combinan diversos factores que se simulan para determinar la densidad arbórea. Las simulaciones consideraron cuatro porcentajes de densidad: 100%, 75%, 50% y 25%. En este contexto, el porcentaje representa la probabilidad de que aparezca un componente arbóreo en cada rejilla, siendo el 100% la presencia eficiente de cuerpos arbóreos. La mejor relación se obtiene con el uso de árboles de 64 m<sup>2</sup> de área, con una copa baja y un 25% de ocupación, demostrando ser hasta un 38.93% más eficaz que la copa media y un 44.95% más eficaz que la copa alta. Esto se detalla en el anexo C.

La ubicación de cada elemento arbóreo se determinó de manera completamente aleatoria utilizando una extensión de SketchUp llamada Random Tools. Esta metodología se combinó con la evaluación de distintas alturas de troncos, clasificadas en bajas, medias y altas. El objetivo fue determinar cuál de estas alturas es más eficiente en términos de la relación entre la cantidad de árboles utilizados y la sombra eficaz generada para reducir la temperatura. Los resultados de estas evaluaciones se pueden observar en la figura 28.

### **Figura 28**

*Eficacia de cobertura vegetal sobre proyección de sombra vs altura de tronco*



Fuente: Autoría propia.

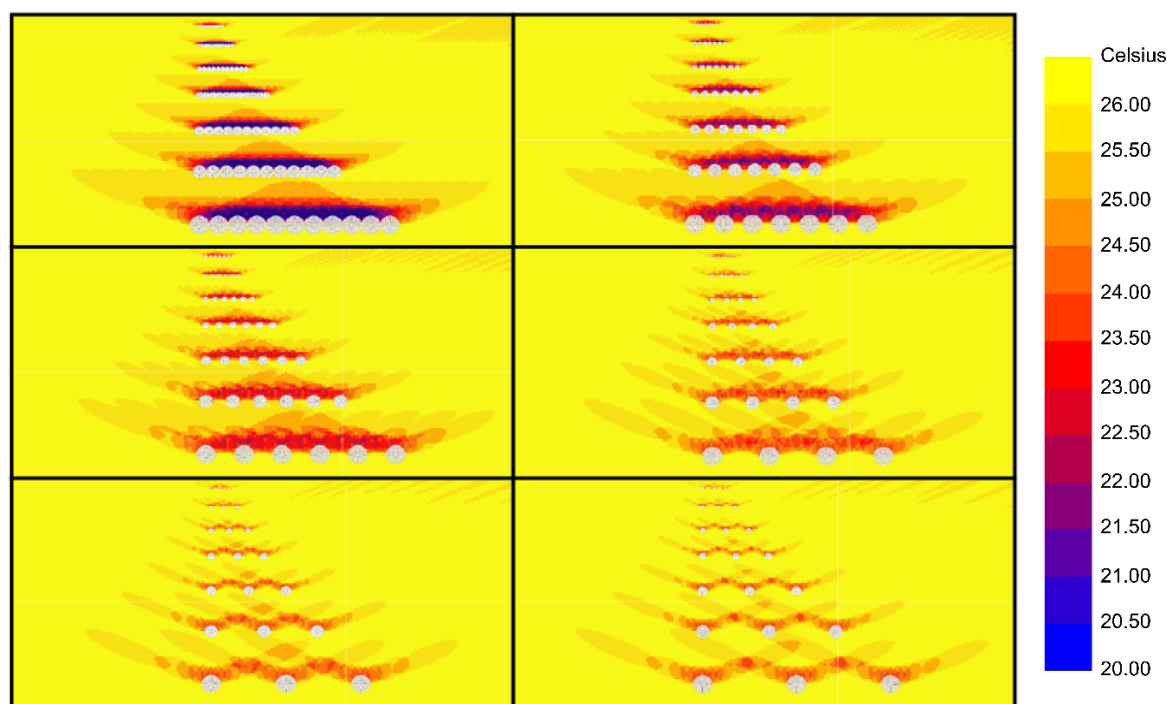
Esta combinación de modelado y simulación proporciona una visión detallada sobre el impacto de las diferentes densidades y alturas de árboles en la eficacia de sombra para los entornos urbanos. La información obtenida es esencial para la planificación y diseño urbano, permitiendo optimizar la plantación de árboles para maximizar su impacto en la reducción de temperatura.

### ***Eficacia de la arborización en proyección de sombra versus distancia óptima***

Se utilizó el radio y el diámetro de cada volumen de esfera para representar diferentes tipos de árboles. Posteriormente, se determinó la disposición lineal de estos elementos siguiendo una trayectoria específica. Se evaluó la proximidad entre cada uno de estos elementos para determinar cuál de las disposiciones es la más eficaz en términos de la cantidad de sombra eficaz y la cantidad de árboles necesarios, como se observa en la figura 29.

### **Figura 29**

*Eficacia de distancia entre posición de arborización*



Fuente: Autoría propia

También se consideró la altura de cada tipo de arborización en este análisis. Los resultados indicaron que el uso de arborización alineada con una separación óptima de un radio

de distancia en todos los casos es la más eficaz. En particular, la copa baja resultó ser un 56% más efectiva que la copa media y un 58% más efectiva que la copa alta. Estos cálculos se detallan en el anexo D. Este enfoque metodológico permite optimizar la disposición y selección de árboles en entornos urbanos, maximizando la sombra generada y minimizando la cantidad de árboles necesarios.

### ***Eficacia de la arborización en proyección de sombra versus relación entre cobertura vegetal y reducción de temperatura***

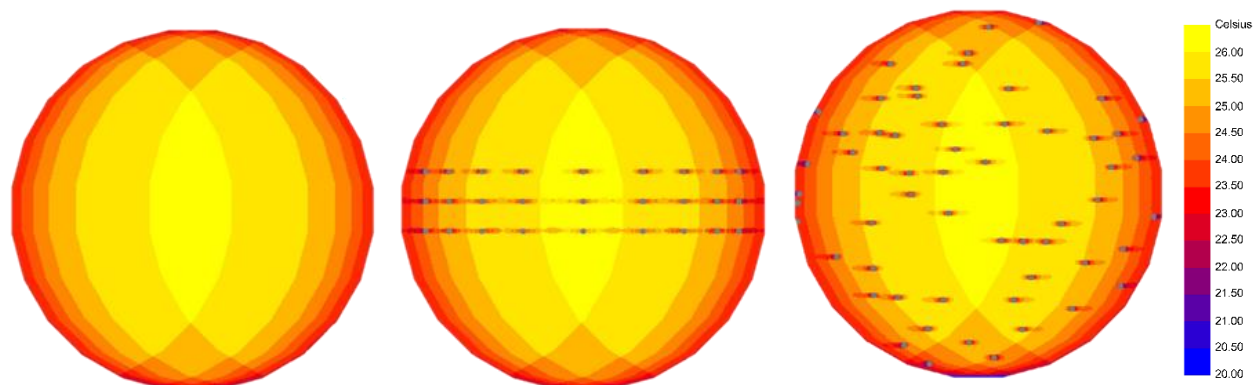
Además de la altura y el volumen de los árboles, se contó con factores como la densidad de la vegetación circundante, la orientación de los árboles y la composición del entorno urbano. El estudio analizó cómo las variaciones en la altura y el volumen de los árboles se relacionan con la reducción térmica según cada tipo de vulnerabilidad (alta, media y alta).

Se examinó la posibilidad de recomendar el uso de un tipo específico de arborización y su comportamiento en la proyección de sombra con el objetivo de lograr una reducción efectiva durante un período de tiempo determinado. Este análisis se detalla en el anexo E, donde se evidencia que la mayor eficiencia en la reducción de temperatura, considerando todos los niveles de vulnerabilidad, se alcanza con árboles de 64 m<sup>2</sup> de área y altura nula. Estos árboles son un 46.18% más efectivos que los de copa media y un 65.88% más efectivos que los de copa alta.

Asimismo, se determinó que la mayor eficiencia en la reducción térmica en condiciones de alta y baja vulnerabilidad se logra con árboles de 64 m<sup>2</sup> de área y altura nula. Para reducir la vulnerabilidad media, se recomienda el uso de árboles de 64 m<sup>2</sup>, pero con altura media. Este planteamiento busca alcanzar un rango óptimo de reducción térmica según el tipo de vulnerabilidad, como se muestra en la figura 30.

### **Figura 30**

*Eficacia por uso de arborización y tipo de proyección de sombra según el tipo de vulnerabilidad*





4,51	X	X	X	X	X	X	X	4,51
6,38	X	X	X	X	X	X	X	6,38
8,99	X	X	X	X	X	X	X	8,99

Fuente: Autoría propia.

**Tabla 11**

*Matriz de relaciones por función entre dimensiones por diámetro, área y las distintas secciones urbanas*

Diámetro	Compatibilidad de Diámetro de árbol en relación con el espacio urbano							Area-M2
	Calles	T. Peatonal	Andenes	Antejardín	Plazoletas	Plazas	Parques	
1,13	X	X	X	X	X	X	X	1
1,6	X	X	X	X	X	X	X	2
2,26	X	X	X	X	X	X	X	4
3,19	--	X	--	--	X	X	X	8
4,51	--	--	--	--	X	X	X	16
6,38	--	--	--	--	--	X	X	32
8,99	--	--	--	--	--	X	X	64

Fuente: Autoría propia.

***Eficiencia a través del uso de arborización y corrientes de aire: Uso sobre área urbana de estudio, secciones de simulaciones a través de Flowillustrator***

Los árboles plantados de manera lineal a lo largo de calles y andenes actúan como obstáculos al flujo de aire, generando turbulencias y reduciendo la velocidad del viento a nivel del suelo. Esta alteración de las corrientes de aire no solo mejora la dispersión de contaminantes, sino que también contribuye al enfriamiento de la superficie urbana mediante la sombra proporcionada por los árboles. Además, la arborización en estos espacios ayuda a mitigar las islas de calor mediante la sombra, que reduce la radiación solar directa, y la evapotranspiración, que libera vapor de agua, enfriando el aire circundante y aumentando la humedad relativa. El uso de pavimentos permeables y reflectantes en combinación con árboles también mejora la mitigación del calor al reducir la inercia térmica y aumentar el albedo.

En plazas y parques, los árboles dispuestos en masas densas crean microclimas diferenciados, reduciendo significativamente la velocidad del viento y generando áreas de calma relativa. La interacción del viento con el follaje y la disposición irregular de los árboles genera

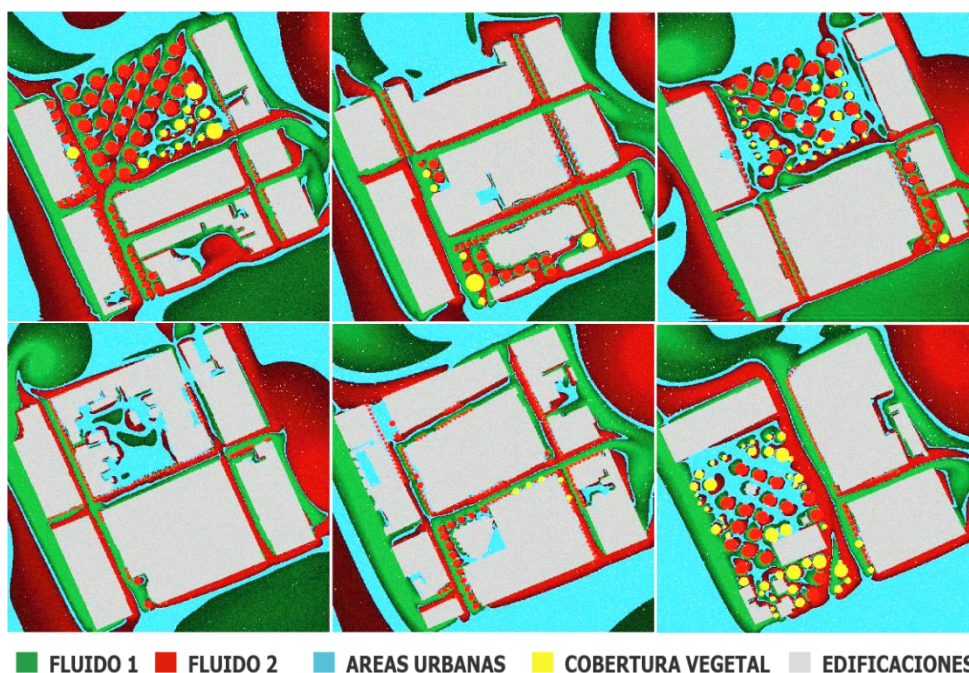


turbulencias que mejoran la mezcla del aire y la dispersión de contaminantes. Los árboles en estas áreas también desempeñan un papel crucial en la regulación de la temperatura urbana al proporcionar una mayor cobertura de sombra y aumentar la evapotranspiración, lo que eleva la humedad relativa y contribuye a un enfriamiento natural del ambiente. Este efecto de enfriamiento se extiende a las áreas circundantes, especialmente durante la noche.

La redistribución de los flujos de aire y la creación de microclimas mediante la arborización son fundamentales para mitigar las islas de calor en áreas urbanas. Los árboles no solo modifican el flujo de aire, sino que también redistribuyen la humedad, mejorando el confort térmico de los transeúntes. En calles y andenes, la evapotranspiración de los árboles añade vapor de agua al aire, aumentando la humedad relativa y reduciendo la temperatura del aire. En plazas y parques, la masa arbórea actúa como una reserva de humedad, manteniendo un microclima más fresco y húmedo que se extiende a las áreas circundantes. Aunque la influencia directa de los árboles disminuye a mayores alturas, su efecto sobre las corrientes de aire y el microclima puede extenderse a edificios altos y calles estrechas, reduciendo la temperatura de las fachadas y mejorando el confort térmico general, esto se puede ver en la figura 31.

### Figura 31

*Simulaciones de corrientes de viento sobre geometría urbana y propuesta de arborización*



Fuente: Flowillustrator y simulaciones por autoría propia.

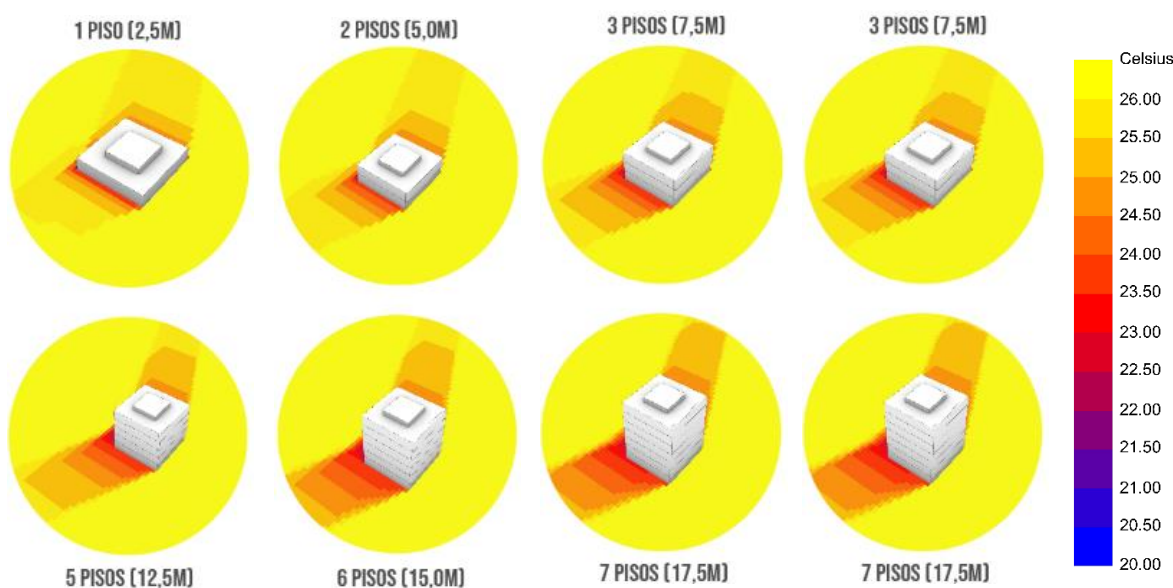
***Eficiencia a través de morfología de alturas: proyección de sombra por edificaciones establecida a través de su altura y su incidencia sobre los espacios urbanos***

En este estudio, se llevan a cabo simulaciones de diversas edificaciones que abarcan desde una altura de un piso de 2,5 metros hasta 8 pisos de 20 metros, con el objetivo de determinar la mejor relación entre altura y sombra concentrada para lograr una reducción acumulativa de temperatura en los espacios urbanos. Se analizó detalladamente la efectividad de la sombra concentrada y media, considerando un porcentaje de diferencia que va desde niveles bajos hasta un máximo del 15%. Los resultados de estas simulaciones sugieren que las edificaciones de 5 pisos logran un equilibrio óptimo en la generación de sombra eficiente, mostrando hasta un 15% más de eficacia en comparación con otras alturas evaluadas, estos cálculos se pueden ver de mejor modo en el anexo F.

Estos hallazgos respaldan la importancia de considerar la altura de las edificaciones en el diseño urbano y en la planificación del espacio, lo que puede contribuir significativamente a la mitigación del calor urbano y al mejoramiento del confort térmico en áreas urbanas densamente pobladas, estas relaciones se pueden ver de mejor modo en la figura 32.

**Figura 32**

*Relación altura edificación y proyección de sombra eficiente sobre espacios urbanos*



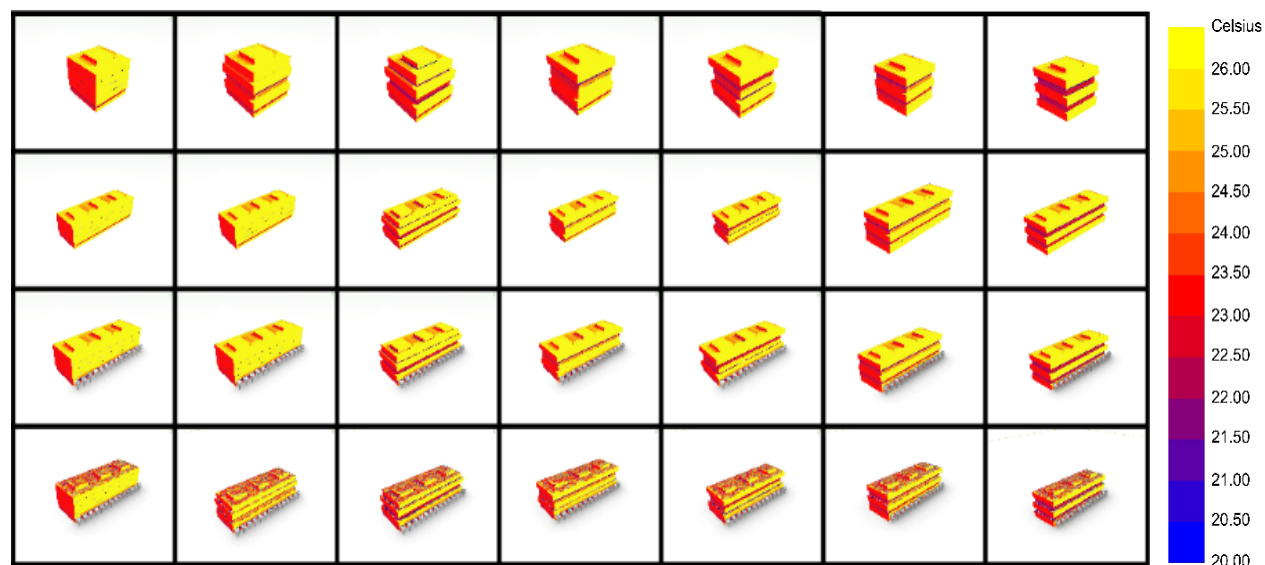
Fuente: Autoría propia.

### **Optimización volumétrica para proyección de sombra y regulación de incidencia en edificaciones Urbanas**

Las regulaciones volumétricas establecen que, al restringir la volumetría en la conexión norte-sur a un mínimo de 50 centímetros, podemos determinar qué tipo de edificación sería más adecuada y eficiente para el área de estudio mediante el uso de voladizos y retrocesos. Esta variación se optimiza aún más mediante propuestas que incluyen componentes arquitectónicos y vegetación como se muestra en la figura 33. Se ha determinado que las edificaciones resultantes son hasta un 25% más eficientes en comparación con su competidor más bajo, bajo las siguientes restricciones: el 1er piso alineado, el 2do piso con retroceso de 1 metro, el 3er piso con voladizo de 0,5 metros, el 4to piso con retroceso de 1 metro y el 5to piso con voladizo de 0,5 metros. Esta mayor eficiencia se logra al intervenir en las edificaciones con componentes arquitectónicos o vegetales, lo que reduce su ineficiencia hasta en un 30%, lo que equivale a una reducción de temperatura de 3,2 °C, esta relación de variaciones es definida de mejor modo sobre la figura 34, donde a través de la comparación de distintos modelos, se presentan tales resultados.

#### **Figura 33**

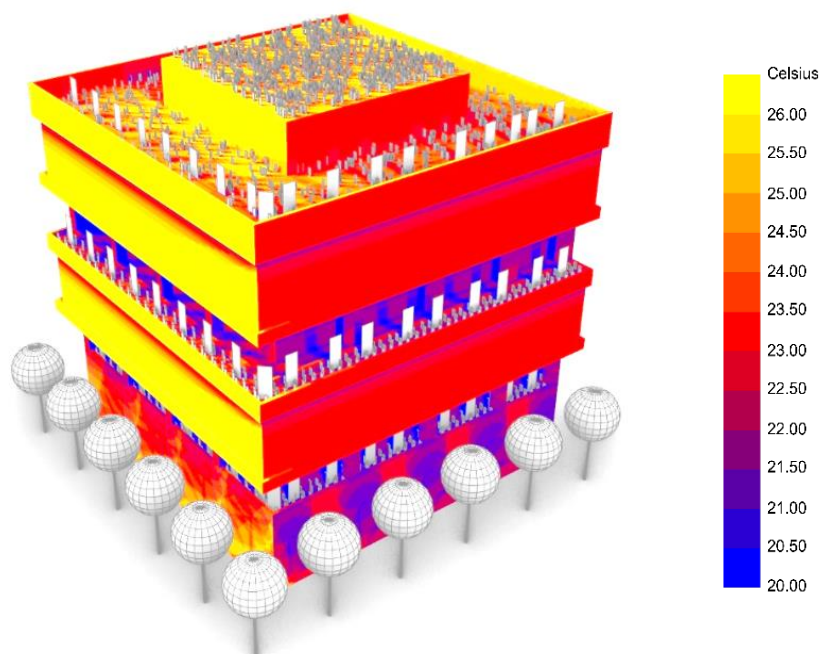
*Relación volumétrica de edificios y su incidencia solar*



Fuente: Autoría propia.

**Figura 34**

*Resultado del modelo volumétrico más eficiente en proyección de sombra sobre sí mismo*



Fuente: Autoría propia.

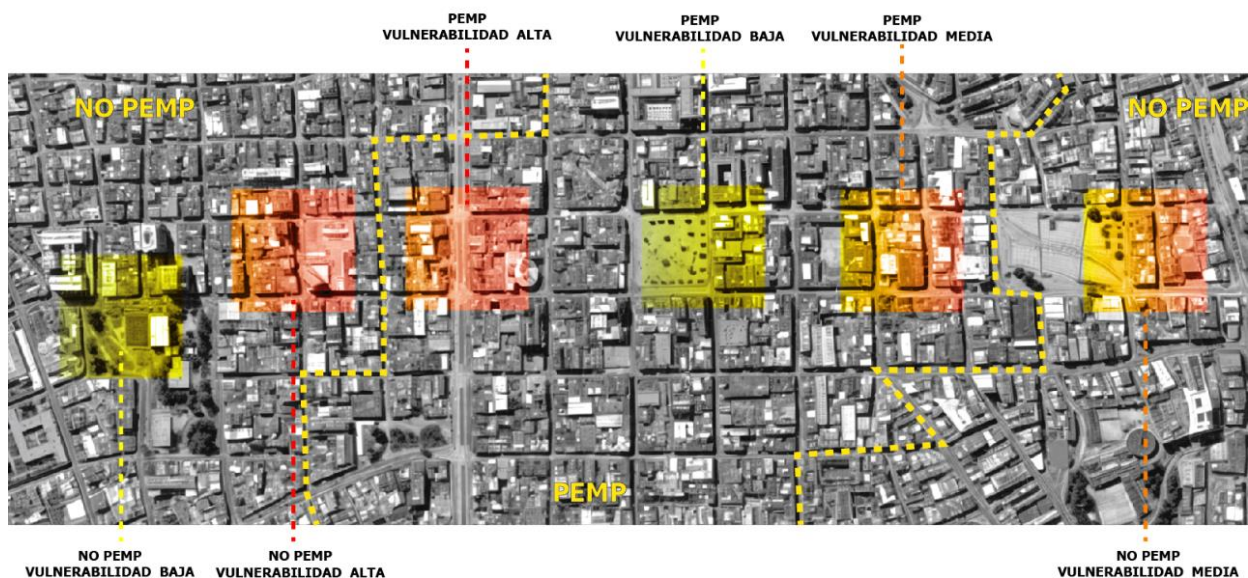
***Eficiencia a través del uso adecuado de materiales en espacios urbanos: relación entre reducción de temperatura y cambio de materiales permeables con alto porcentaje de albedo y baja inercia térmica***

Se analizó el uso de áreas verdes cubiertas de pasto de mediana altura, que actúan como zonas de alta evapotranspiración, disminuyendo la temperatura gracias a su inercia térmica y equilibrando el efecto albedo. La transición a materiales con menor capacidad de absorción y mayor permeabilidad en las cubiertas de las edificaciones resultó en una reducción drástica de la temperatura, especialmente en las áreas fuera del Plan Especial de Manejo del Patrimonio (PEMP), con un valor máximo de reducción de hasta (3,5°C). Estas modificaciones estructurales mejoraron significativamente la eficiencia térmica del entorno urbano.

Se establecen las áreas seleccionadas previamente en la metodología de diseño de eficiencia, tanto dentro como fuera del Plan Especial de Manejo del Patrimonio (PEMP). Esto da lugar a seis combinaciones posibles de sectores, cada uno con una dimensión de 170m\*170m, lo que equivale a 28.900m<sup>2</sup> por sector. Las combinaciones se distribuyen como PEMP (alta, media, baja) y No PEMP (alta, media, baja), tal como se muestra en la figura 35.

**Figura 35**

*Sectores para intervenir, clasificados según su tipo de vulnerabilidad y su inclusión o exclusión dentro del Plan Especial de Manejo y Protección (PEMP).*



Fuente: Autoría propia.

El total de las áreas analizadas mediante simulaciones abarca 173.400 m<sup>2</sup>, distribuidas en diversos sectores con características urbanas y edificatorias distintas, cada uno con restricciones específicas para la intervención en sus edificaciones. En este contexto, se presenta el cálculo del balance energético expresado en porcentajes y temperaturas, lo que permite establecer su relación con la humedad relativa y detallar las intervenciones sectoriales, las cuales se describen con mayor profundidad en los anexos.

El análisis inicial resaltó la importancia de las áreas verdes y el uso de materiales con alta reflectancia y permeabilidad, subrayando la necesidad de adoptar estrategias sostenibles para reducir las temperaturas en entornos urbanos. Posteriormente, se profundizó en la eficiencia térmica obtenida a través de la implementación de materiales específicos tanto en espacios públicos como sobre los techos de edificaciones. Se evaluó el impacto de superficies permeables, adoquines reflectantes y cubiertas vegetales, demostrando una disminución significativa en la temperatura de los sectores estudiados.

El estudio concluyó que, mientras las áreas verdes con pasto de mediana altura contribuyen a la reducción de la temperatura mediante alta evapotranspiración y un adecuado

balance albedo-inercia térmica, en las plazas se emplearon adoquines hexagonales con césped, y en las calles, pavimentos permeables. Los adoquines reflectantes en los andenes, junto con la arborización, jugaron un papel clave en la mitigación del calor. Se observó que los techos de las edificaciones con materiales reflectantes lograron una mayor reducción de temperatura (3,06°C) frente a los espacios urbanos (2,25°C).

Finalmente, la selección de materiales con alta permeabilidad y reflectancia se identificó como un factor clave para reducir la temperatura. Estos materiales permiten gestionar el calor de manera más eficiente al reflejar la radiación solar, favoreciendo un entorno urbano más fresco. La interrelación de estos elementos y su impacto conjunto en la reducción de la temperatura se detalla en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Materiales propuestos para la reducción de temperatura*

Material Propuesto	Inercia Térmica	% Albedo	Reducción Temperatura
<b>Uso sobre espacios urbanos</b>			
Concreto rígido pigmentado con aditivos de aumento de reflectancia	22000	45	2,5
Asfalto permeable	1200	25	1,5
Adoquines colores claros	2000	35	1,5
Zona verde	400	20	3,5
Adoquín color blancos	2000	45	2
Concreto permeable	1800	35	2
<b>Uso sobre techos de edificaciones</b>			
Concreto con colores claros y reflectante	2200	45	2
Techos verdes	800	25	3
Techo frio (cool roofs)	1000	60	3,5
Teja con aditivo sobre superficie reflectante	1400	45	3
Techos verdes	800	25	3,5
Techos verdes	800	25	3,5
Concretos permeables	1800	35	2
Zona verde	400	20	3,5

Fuente: Autoría propia.

***Análisis de eficiencia en el sector 1: estudio de caso sobre elementos de mitigación pasiva***

El área de estudio, denominada Sector 1, se detalla en el Anexo G. Los datos incluyen la ubicación específica (mediante coordenadas), detalles sobre la vegetación, áreas identificadas,

materiales presentes y la cantidad de unidades de arborización, junto con su área de cobertura vegetal. Cada elemento se describe en términos porcentuales en relación con el espacio total.

La selección del Sector 1 se basó en dos variables principales: su ubicación fuera del Plan Especial de Manejo del Patrimonio (PEMP) y su nivel de vulnerabilidad media, determinado a partir de mediciones de campo. Con una temperatura promedio de 23,32 °C y una humedad relativa del 40,29%, este sector se clasifica como de alta vulnerabilidad.

El Sector 1 incluye elementos importantes como una parte de la plaza del carnaval y una sección del proyecto vital. Las edificaciones identificadas como el edificio del tránsito municipal, centros comerciales y hoteles, pueden generar una gran afluencia de personas.

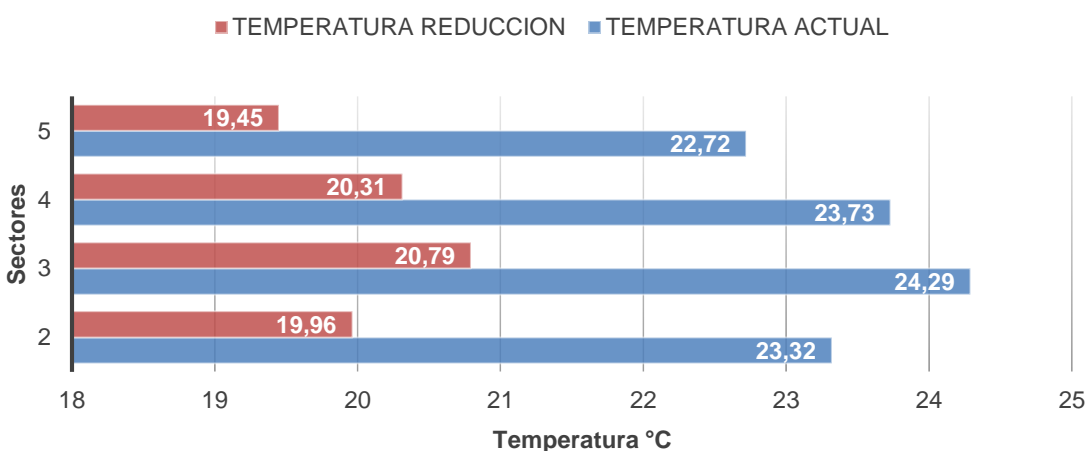
En términos ambientales, el sector cuenta con 18 árboles que ofrecen una cobertura vegetal de 506.74 m<sup>2</sup> y un área verde de 471,33 m<sup>2</sup>. Estas áreas representan solo el 6,44% del área total con tratamiento verde dentro del espacio peatonal y solo el 3,38% del área total, indicando una cobertura vegetal baja. Sin embargo, el sector ofrece oportunidades significativas para intervenciones efectivas para reducir la temperatura y aumentar la humedad relativa, estas se centran en dos aspectos principales, las edificaciones y los tramos urbanos.

- Las edificaciones, que representan el 65,38% del área total del sector pueden ser intervenidas principalmente mediante el cambio de materiales, optando por aquellos con mejor inercia térmica y efecto albedo. Las opciones consideradas incluyen cubiertas verdes, materiales con revestimientos reflectantes o cambios de color a tonos blancos. Los resultados de estas intervenciones, detallados en el Anexo G muestran una reducción de temperatura, con una eficacia del 9,3%, equivalente a una disminución de la temperatura promedio de 2,16 °C, con una reducción máxima de hasta 3,5 °C, esto se muestra en la figura 36.
- Los tramos urbanos, que representan el 52,57% del área total del sector, serán intervenidos principalmente a través de la arborización y el uso de materiales con mayor eficacia en la reducción de la temperatura. Se implementarán 97 unidades de árboles adicionales, generando una cobertura vegetal de 2680 m<sup>2</sup>. Además, se cambiarán los materiales utilizados en estos espacios peatonales por materiales permeables con revestimientos reflectantes. Estas intervenciones conducirán a una reducción de la eficiencia del 12,9%, equivalente a una disminución de la temperatura promedio de 2,5°C y una máxima de hasta 3,5°C.

Se determina que, las intervenciones propuestas en el Sector 1 podrían resultar en una reducción promedio de la temperatura que nos lleva a los 19,96 °C, en comparación con su estado inicial de 23,32 °C, lo que equivale a una reducción acumulativa de hasta 3,36°C, y sobre la figura 37 se mira un aumento de la humedad relativa de hasta 6,77%, pasando de 40,29% a 47,06% en este caso la cuantificación de esta intervención se puede ver de mejor modo en el anexo G.

**Figura 36**

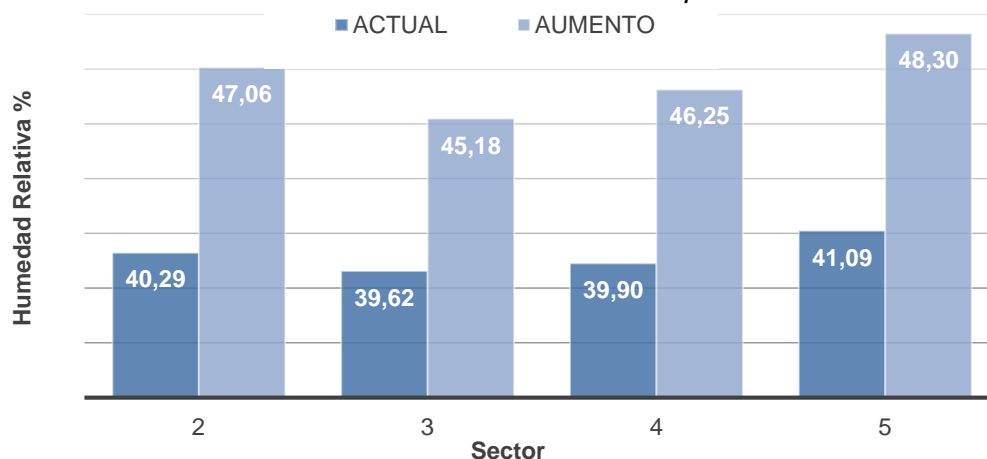
*Reducción de temperatura en sector 1*



Fuente: Autoría propia.

**Figura 37**

*Aumento de humedad relativa a través de la reducción de temperatura en sector 1*



Fuente: Autoría propia.

***Análisis de eficiencia en el sector 2: estudio de caso sobre elementos de mitigación pasiva***



El área de estudio, denominada Sector 2, se detalla en el Anexo H. Los datos incluyen la ubicación específica (mediante coordenadas), detalles sobre la vegetación, áreas identificadas, materiales presentes y la cantidad de unidades de arborización, junto con su área de cobertura vegetal. Cada elemento se describe en términos porcentuales en relación con el espacio total.

La selección del Sector 2 se basó en dos variables principales: su ubicación haciendo parte del Plan Especial de Manejo del Patrimonio (PEMP) y su nivel de vulnerabilidad medio, determinado a partir de mediciones de campo. Con una temperatura promedio de 22,9°C y una humedad relativa del 41,33%.

El Sector 2 comprende edificaciones de suma importancia para la ciudad, como el Banco de la República y el Museo del Oro, así como sus extensiones peatonales y a la vez zonas de culto. También se incluye una zona de peatonalización del Proyecto Vital.

En términos ambientales, el sector cuenta con 6 árboles que ofrecen una cobertura vegetal de 322 m<sup>2</sup> y un área verde nula. Estas áreas representan solo el 3.22% del área total con tratamiento verde dentro del espacio peatonal y solo el 1.11% del área total, indicando una cobertura vegetal extremadamente baja. La mitigación de islas de calor se basa en dos factores.

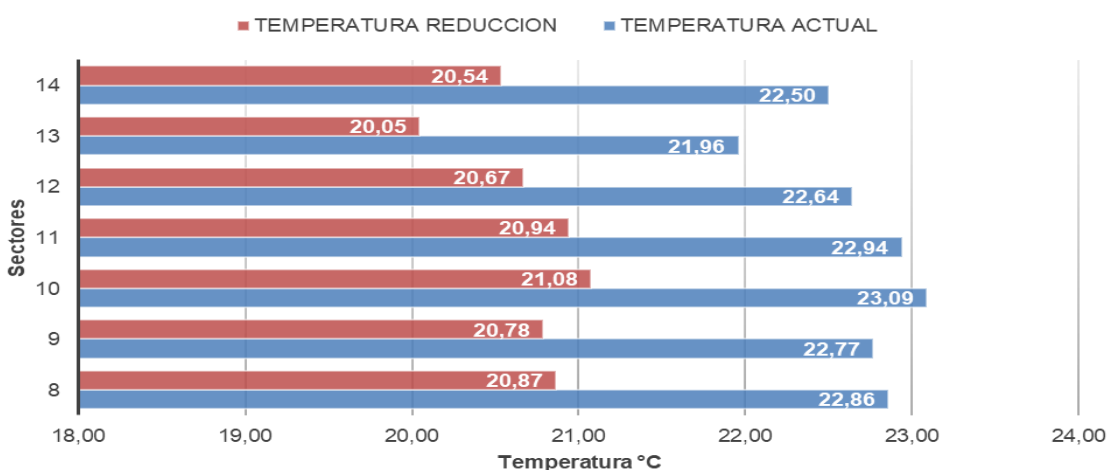
- Las edificaciones, que constituyen el 65.36% del área total del sector, presentan áreas particulares que pueden ser intervenidas. Sin embargo, no todas las áreas son susceptibles de intervención, ya que esta posibilidad está limitada por el grado de conservación y la disposición de los edificios. Aquellas áreas que permitan intervenciones serán principalmente objeto de cambios en los materiales, con el fin de mejorar la inercia térmica y el efecto albedo. Entre las opciones consideradas se encuentran las cubiertas verdes, los materiales con revestimientos reflectantes y los cambios de color a tonos blancos. Los resultados de estas intervenciones, detallados en el Anexo H, muestran una reducción de temperatura con una eficacia del 9.3%, lo que equivale a una disminución promedio de la temperatura de 1.5 °C, con una reducción máxima de hasta 1.8°C. Esto se visualiza en la figura 38.
- Los tramos urbanos, que representan el 34.64% del área total del sector, serán intervenidos principalmente a través de la arborización y el uso de materiales con mayor eficacia en la reducción de la temperatura. Se implementarán 127 unidades de árboles adicionales, generando una cobertura vegetal de 1216 m<sup>2</sup>. Además, se cambiarán los materiales utilizados en estos espacios peatonales por materiales permeables con revestimientos reflectantes. Estas intervenciones conducirán a una reducción de la

eficiencia del 8.72%, equivalente a una disminución de la temperatura promedio de 2°C y una máxima de hasta 2,8°C esto se muestra en la figura 39.

Se determina que, las intervenciones propuestas en el Sector 2 podrían resultar en una reducción promedio de la temperatura de 20.94 °C, en comparación con su estado inicial de 22.94 °C, lo que equivale a una reducción acumulativa de hasta 2°C, y un aumento de la humedad relativa de hasta 3,95%, pasando de 41.33% a 45.28%, esto se visualiza en el anexo H.

**Figura 38**

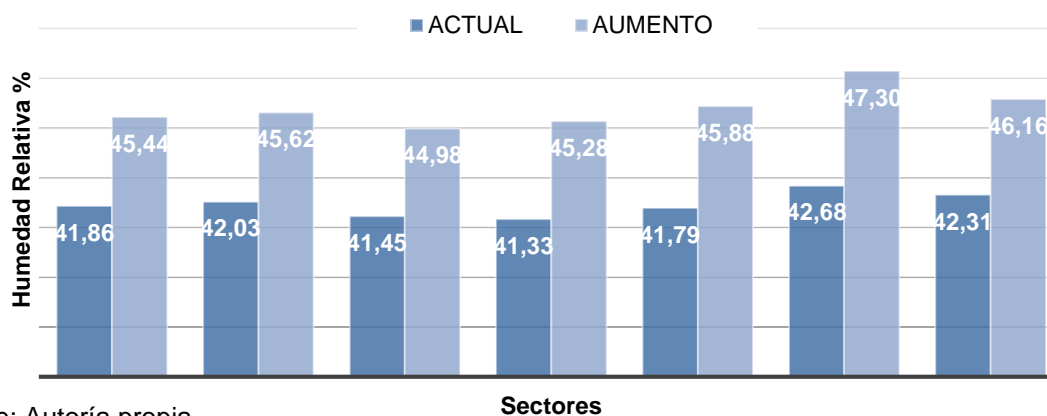
*Reducción de temperatura en sector 2*



Fuente: Autoría propia.

**Figura 39**

*Aumento de humedad relativa a través de la reducción de temperatura en sector 2*



Fuente: Autoría propia.

***Análisis de eficiencia en el sector 3: estudio de caso sobre elementos de mitigación pasiva***

El área de estudio, denominada Sector 3, se detalla en el Anexo I. Los datos incluyen la ubicación específica (mediante coordenadas), detalles sobre la vegetación, áreas identificadas, materiales presentes y la cantidad de unidades de arborización.

La selección del Sector 3 se basó en dos variables principales: su ubicación haciendo parte del Plan Especial de Manejo del Patrimonio (PEMP) y su nivel de vulnerabilidad bajo, determinado a partir de mediciones de campo. Con una temperatura promedio de 21.79 °C y una humedad relativa del 44.18%.

El Sector 3 comprende edificaciones de suma importancia para la ciudad, como la plaza de Nariño con la zona bancaria, así como hoteles y zonas comerciales, al igual que zonas de culto. También se incluye una zona de peatonalización del Proyecto Vital.

En términos ambientales, el sector cuenta con 29 árboles que ofrecen una cobertura vegetal de 422.57m<sup>2</sup> y un área verde nula. Estas áreas representan solo el 3.26% del área total con tratamiento verde dentro del espacio peatonal y solo el 1.46% del área total, indicando una cobertura vegetal extremadamente baja. La mitigación de islas de calor se basa en dos factores.

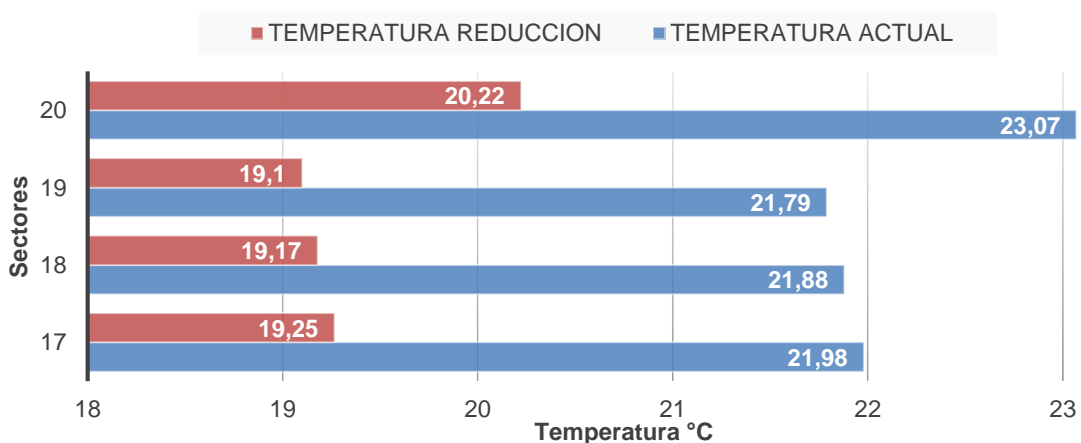
- Las edificaciones, que constituyen el 55.19% del área total del sector, presentan áreas particulares que pueden ser intervenidas. Sin embargo, no todas las áreas son susceptibles de intervención, ya que esta posibilidad está limitada por el grado de conservación y la disposición de los edificios. Aquellas áreas que permitan intervenciones serán principalmente objeto de cambios en los materiales, con el fin de mejorar la inercia térmica y el efecto albedo. Entre las opciones consideradas se encuentran las cubiertas verdes, los materiales con revestimientos reflectantes y los cambios de color a tonos blancos. Los resultados de estas intervenciones, detallados en el Anexo I, muestran una reducción de temperatura con una eficacia del 8.3%, lo que equivale a una disminución promedio de la temperatura de 1.9 °C, con una reducción máxima de hasta 3.2°C. Esto se visualiza en la figura 40.
- Los tramos urbanos, que representan el 44.81% del área total del sector, serán intervenidos principalmente a través de la arborización y el uso de materiales con mayor eficacia en la reducción de la temperatura. Se implementarán 95 unidades de árboles adicionales, generando una cobertura vegetal de 2104 m<sup>2</sup>. Además, se cambiarán los materiales utilizados en estos espacios peatonales por materiales permeables con revestimientos reflectantes. Estas intervenciones conducirán a una reducción de la

eficiencia del 14.72%, equivalente a una disminución de la temperatura promedio de 3.1°C y una máxima de hasta 3.6°C esto se muestra en la figura 41.

Se determina que, las intervenciones propuestas en el Sector 3 podrían resultar en una reducción promedio de la temperatura de 19.10°C, en comparación con su estado inicial de 21.79 °C, lo que equivale a una reducción acumulativa de hasta 2,69°C, y un aumento de la humedad relativa de hasta 6,22%, pasando de 44.18% a 50.40%. Este cálculo se lo determinad de mejor modo sobre el anexo I.

**Figura 40**

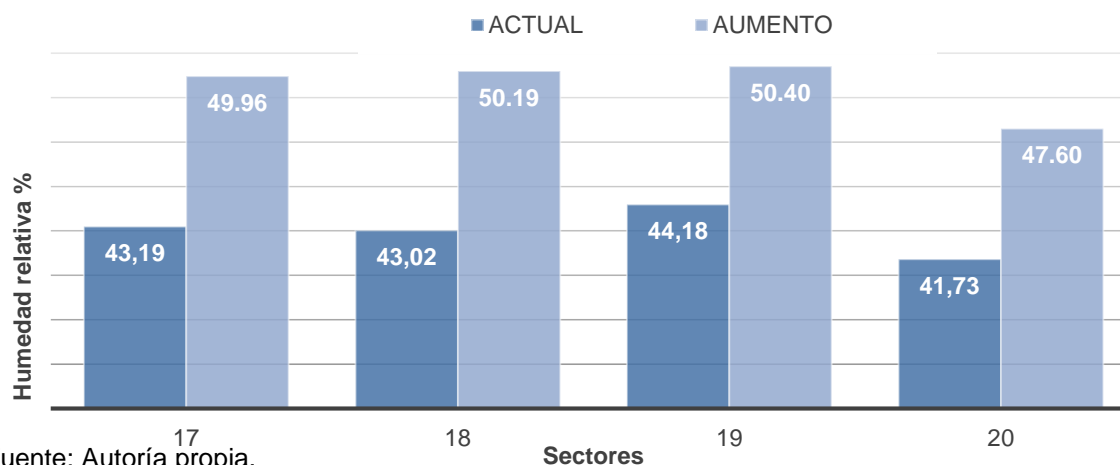
*Reducción de temperatura en sector 3*



Fuente: Autoría propia.

**Figura 41**

*Aumento de humedad relativa a través de la reducción de temperatura en sector 3*



Fuente: Autoría propia.

#### ***Análisis de eficiencia en el sector 4: estudio de caso sobre elementos de mitigación pasiva***

El área de estudio, denominada Sector 4, se detalla en el Anexo J. Los datos incluyen la ubicación específica (mediante coordenadas), detalles sobre la vegetación, áreas identificadas, materiales presentes y la cantidad de unidades de arborización, junto con su área de cobertura vegetal. La selección del Sector 4 se basó en dos variables principales: su ubicación haciendo parte del Plan Especial de Manejo del Patrimonio (PEMP) y su nivel de vulnerabilidad alto, determinado a partir de mediciones de campo. Con una temperatura promedio de 24.35 °C y una humedad relativa del 39.45%.

El Sector 4 presenta una variedad de edificaciones que reflejan una mezcla de usos, con zonas comerciales y residenciales, así como áreas que combinan ambas funciones. Este sector también se caracteriza por la presencia de la vía 27, que ha resultado en la demolición de viviendas residenciales y la aparición de lotes baldíos.

En cuanto al aspecto ambiental, el sector cuenta con 36 árboles que proporcionan una cobertura vegetal de 25.2 m<sup>2</sup> y un área verde de 315.42 m<sup>2</sup>. Sin embargo, estas áreas verdes representan solo el 6.48% del área total con tratamiento vegetal dentro del espacio peatonal y solo el 1.18% del área total del sector. Esto indica una cobertura vegetal centralizada a lo largo del eje de la carrera 27, con pocas áreas verdes adicionales en otras zonas del sector.

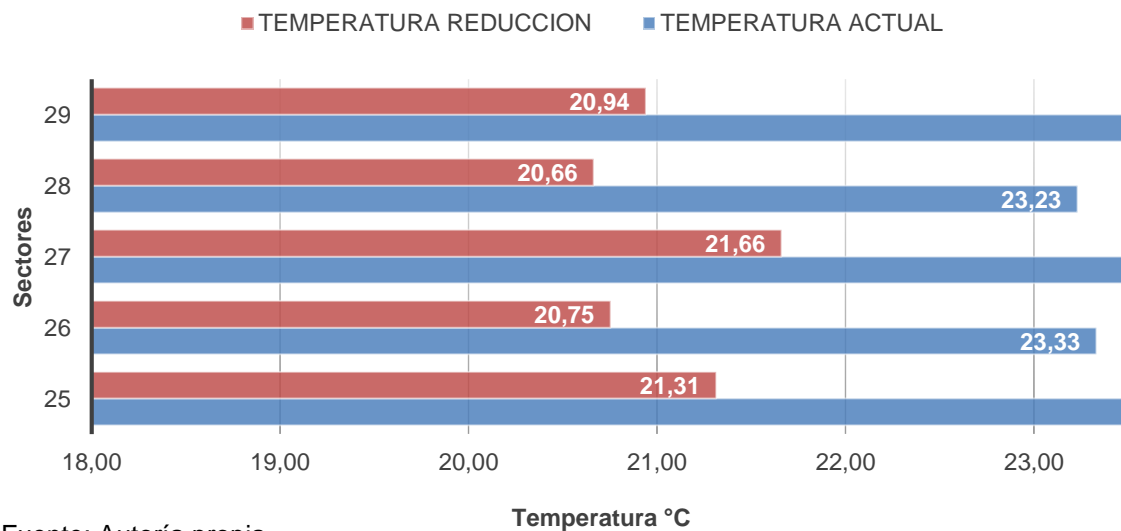
- Las edificaciones, que constituyen el 81.8% del área total del sector, presentan áreas particulares que pueden ser intervenidas. Sin embargo, no todas las áreas son susceptibles de intervención, ya que esta posibilidad está limitada por el grado de conservación y la disposición de los edificios. Aquellas áreas que permitan intervenciones serán principalmente objeto de cambios en los materiales. Entre las opciones consideradas se encuentran las cubiertas verdes, los materiales con revestimientos reflectantes y los cambios de color a tonos blancos. Los resultados de estas intervenciones, detallados en el Anexo J, muestran una reducción de temperatura con una eficacia del 7.6%, lo que equivale a una disminución promedio de la temperatura de 1.5 °C, con una reducción máxima de hasta 3.4°C. Esto se visualiza en la figura 42.
- Los tramos urbanos, que representan el 18.2% del área total del sector, serán intervenidos principalmente a través de la arborización y el uso de materiales con mayor eficacia en la reducción de la temperatura. Se implementarán 43 unidades de árboles adicionales, generando una cobertura vegetal de 424 m<sup>2</sup>. Además, se cambiarán los materiales utilizados en estos espacios peatonales por materiales permeables con

revestimientos reflectantes. Estas intervenciones conducirán a una reducción de la eficiencia del 5.4%, equivalente a una disminución de la temperatura promedio de 0.5°C y una máxima de hasta 1.4°C esto se muestra en la figura 43.

Se determina que, las intervenciones propuestas en el Sector 4 podrían resultar en una reducción promedio de la temperatura de 22.45°C, en comparación con su estado inicial de 24.35 °C, lo que equivale a una reducción acumulativa de hasta 1.9°C, y un aumento de la humedad relativa de hasta 3,34%, pasando de 39.45% a 42.79%. Estos se ven expresados en el anexo J.

### Figura 42

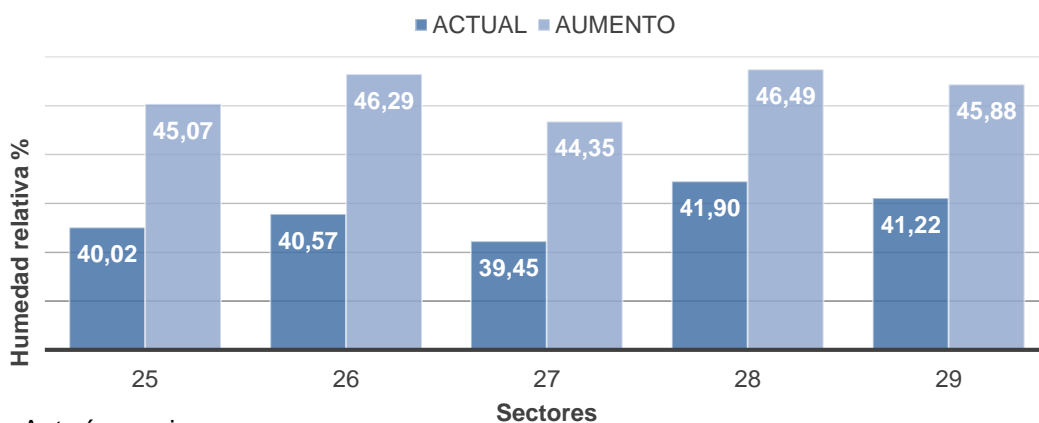
Reducción de temperatura en sector 4



Fuente: Autoría propia.

### Figura 43

Aumento de humedad relativa a través de la reducción de temperatura en sector 4



Fuente: Autoría propia.

### ***Análisis de eficiencia en el sector 5: estudio de caso sobre elementos de mitigación pasiva***

El área de estudio, denominada Sector 5, se detalla en el Anexo K. Los datos incluyen la ubicación específica (mediante coordenadas), detalles sobre la vegetación, áreas identificadas, materiales presentes y la cantidad de unidades de arborización, junto con su área de cobertura vegetal. Cada elemento se describe en términos porcentuales en relación con el espacio total.

La selección del Sector 5 se basó en dos variables principales: su ubicación fuera del Plan Especial de Manejo del Patrimonio (PEMP) y su nivel de vulnerabilidad alta, determinado a partir de mediciones de campo. Con una temperatura promedio de 24.95 °C y una humedad relativa del 39.46%, este sector se clasifica como de alta vulnerabilidad.

El Sector 5 se destaca por la presencia de importantes edificaciones como el edificio de la Cámara de Comercio, así como establecimientos comerciales como Alkosto Centro y una variedad de edificios residenciales.

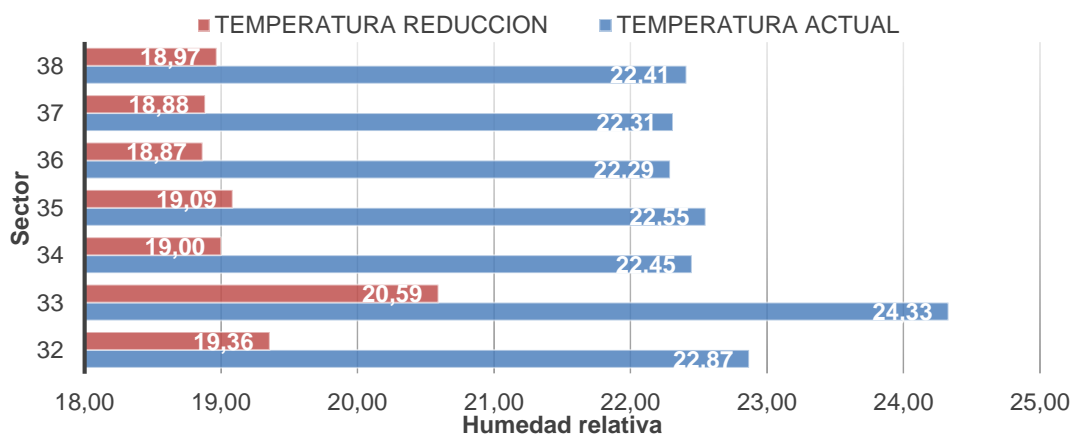
En términos ambientales, el sector cuenta con solo 5 árboles que ofrecen una cobertura vegetal de 81.8 m<sup>2</sup>, y no se identifica ninguna área verde adicional. Estas áreas verdes representan solo el 1.18% del área total con tratamiento vegetal dentro del espacio peatonal y solo el 0.28% del área total del sector.

- Edificaciones, que representan el 75,96% del área total del sector, serán intervenidas principalmente mediante el cambio de materiales, optando por aquellos con mejor inercia térmica y efecto albedo. Las opciones consideradas incluyen cubiertas verdes, materiales con revestimientos reflectantes o cambios de color a tonos blancos. Los resultados de estas intervenciones, detallados en el Anexo K muestran una reducción de temperatura, con una eficacia del 12,3%, equivalente a una disminución de la temperatura promedio de 2,16 °C, con una reducción máxima de hasta 3,1 °C, esto se muestra en la figura 44.
- Los tramos urbanos, que representan el 24,04% del área total del sector, serán intervenidos principalmente a través de la arborización y el uso de materiales con mayor eficacia en la reducción de la temperatura. Se implementarán 43 unidades de árboles adicionales, generando una cobertura vegetal de 424 m<sup>2</sup>. Además, se cambiarán los materiales utilizados en estos espacios peatonales por materiales permeables con revestimientos reflectantes. Estas intervenciones conducirán a una reducción de la eficiencia del 8,4%, equivalente a una disminución de la temperatura promedio de 1,4°C y una máxima de hasta 2,8°C esto se muestra en la figura 45.

Se determina que, las intervenciones propuestas en el Sector 5 podrían resultar en una reducción promedio de la temperatura de 22.45 °C, en comparación con su estado inicial de 24.35 °C, lo que equivale a una reducción acumulativa de hasta 1.9°C, y un aumento de la humedad relativa de hasta 3,34%, pasando de 39,45% a 42,79%. Estos cálculos se encuentran en el anexo K.

**Figura 44**

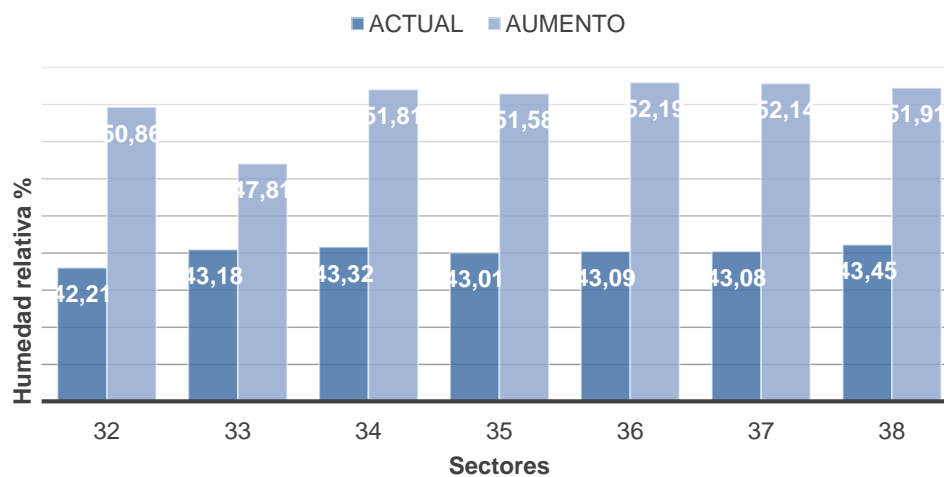
*Reducción de temperatura en sector 5*



Fuente: Autoría propia.

**Figura 45**

*Aumento de humedad relativa a través de la reducción de temperatura en sector 5*



Fuente: Autoría propia.



### ***Análisis de eficiencia en el sector 6: estudio de caso sobre elementos de mitigación pasiva***

El área de estudio, denominada Sector 6, se detalla en el Anexo L. Los datos incluyen la ubicación específica (mediante coordenadas), detalles sobre la vegetación, áreas identificadas, materiales presentes y la cantidad de unidades de arborización, junto con su área de cobertura vegetal. Cada elemento se describe en términos porcentuales en relación con el espacio total.

La selección del Sector 6 se basó en dos variables principales: su ubicación fuera del Plan Especial de Manejo del Patrimonio (PEMP) y su nivel de vulnerabilidad baja, determinado a partir de mediciones de campo. Con una temperatura promedio de 21,31 °C y una humedad relativa del 45,18%.

El Sector 6 se destaca por la presencia de importantes sectores urbanos, como lo es el parque infantil, uno de los más grandes de la ciudad, edificaciones multifamiliares de alta densidad, y sectores comerciales de alta afluencia. Esta zona se caracteriza por tener una alta permanencia por su sector y sus condiciones, siendo un punto focal en la actividad de dispersión, comercial y residencial de la ciudad.

En términos ambientales, el sector cuenta con 61 unidades de árboles que ofrecen una cobertura vegetal de 905.59 m<sup>2</sup>, y un área verde de 8254.33. Estas áreas verdes representan el 31.7% del área total con tratamiento vegetal dentro del espacio peatonal y el 31.70% del área total del sector. Esta alta cobertura vegetal se correlaciona con una temperatura más baja y equilibrada en este sector en comparación con el resto.

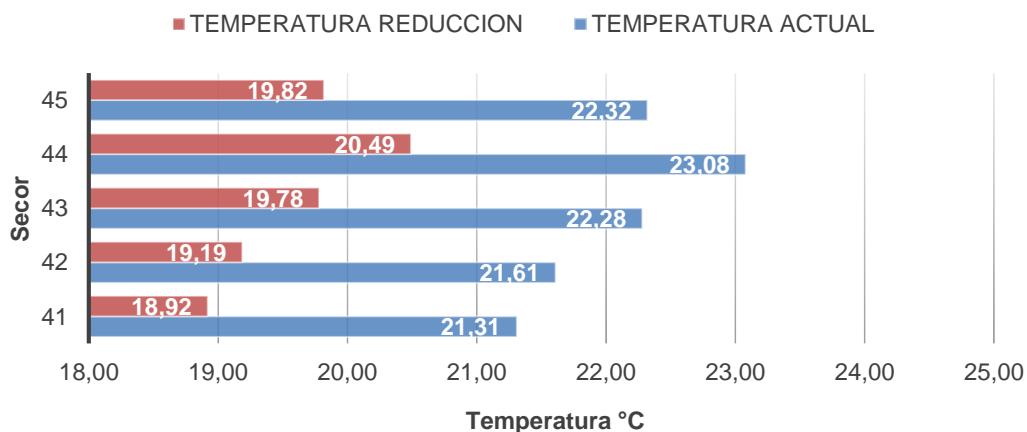
- edificaciones, que representan el 75,96% del área total del sector, serán intervenidas principalmente mediante el cambio de materiales, optando por aquellos con mejor inercia térmica y efecto albedo. Las opciones consideradas incluyen cubiertas verdes, materiales con revestimientos reflectantes o cambios de color a tonos blancos. Los resultados de estas intervenciones, detallados en el Anexo L muestran una reducción de temperatura, con una eficacia del 12,3%, equivalente a una disminución de la temperatura promedio de 2,16 °C, con una reducción máxima de hasta 3,1 °C, esto se muestra en la figura 46.
- Los tramos urbanos, que representan el 24,04% del área total del sector, serán intervenidos principalmente a través de la arborización y el uso de materiales con mayor eficacia en la reducción de la temperatura. Se implementarán 43 unidades de árboles adicionales, generando una cobertura vegetal de 424 m<sup>2</sup>. Además, se cambiarán los materiales utilizados en estos espacios peatonales por materiales permeables con revestimientos reflectantes. Estas intervenciones conducirán a una reducción de la

eficiencia del 8,4%, equivalente a una disminución de la temperatura promedio de 1,4°C y una máxima de hasta 2,8°C esto se muestra en la figura 47.

Se determina que, las intervenciones propuestas en el Sector 6 podrían resultar en una reducción promedio de la temperatura de 18.92 °C, en comparación con su estado inicial de 21,31 °C, lo que equivale a una reducción acumulativa de hasta 2,39°C, y un aumento de la humedad relativa de hasta 5,70%, pasando de 45,1% a 50,80%. estos cálculos se ven expresado de mejor modo sobre el anexo L.

**Figura 46**

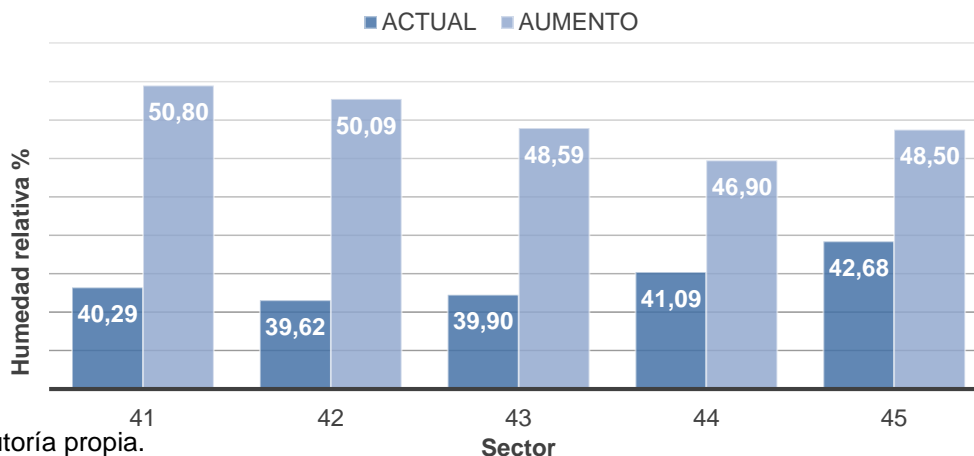
*Reducción de temperatura en sector 6*



Fuente: Autoría propia.

**Figura 47**

*Aumento de humedad relativa a través de la reducción de temperatura en sector 6*



Fuente: Autoría propia.

### ***Análisis de eficiencia holística: propuesta de reducción de Islas de Calor en la conexión norte-sur a lo largo de las Calles 18 y 19***

Una de las principales observaciones de este estudio es el comportamiento de los sectores ante las propuestas implementadas. Se destaca que, en promedio, la temperatura ha descendido de 22,78 a 20,02 °C a lo largo de la conexión estudiada, lo que representa una disminución general de 2,76 °C. Este logro se ha alcanzado mediante estrategias pasivas que respetan la estructura y funcionalidad urbanas, conservando los espacios públicos, andenes y calles en su tamaño y dimensiones originales.

Se ha determinado que la combinación más efectiva para reducir la temperatura incluye la plantación de aproximadamente 1533 árboles y el uso de materiales que reducen la temperatura, como aquellos con un alto albedo e inercia térmica. Los materiales con alto albedo, capaces de reflejar la radiación solar, se han combinado con materiales de baja inercia térmica, lo que evita la acumulación de calor en las superficies urbanas. Esta estrategia ha demostrado ser la más eficaz, como se ilustra en la Figura 48.

Además de la disminución de temperatura, esta intervención mejora significativamente la habitabilidad de los espacios públicos. La arborización propuesta no solo proyecta sombra en las áreas más expuestas, sino que también favorece la biodiversidad urbana. Esto, sumado al uso de materiales reflectantes, optimiza el confort térmico, minimizando la radiación directa sobre las superficies y aumentando la interacción social al mejorar las condiciones de uso del espacio. Así, se contribuye a un entorno más saludable y accesible, reduciendo el estrés térmico en los peatones y usuarios del espacio.

Además, se ha observado una correlación inversa entre la reducción de la temperatura y el aumento de la humedad relativa. El promedio de humedad relativa ha aumentado del 42,27% al 48,01%, con un incremento promedio del 5,75%. Este fenómeno se debe a la relación inversa entre estas dos variables, donde al reducir la temperatura del aire mediante estrategias pasivas como la arborización y el uso de materiales permeables, se genera un ambiente más fresco que favorece un mayor nivel de humedad relativa.

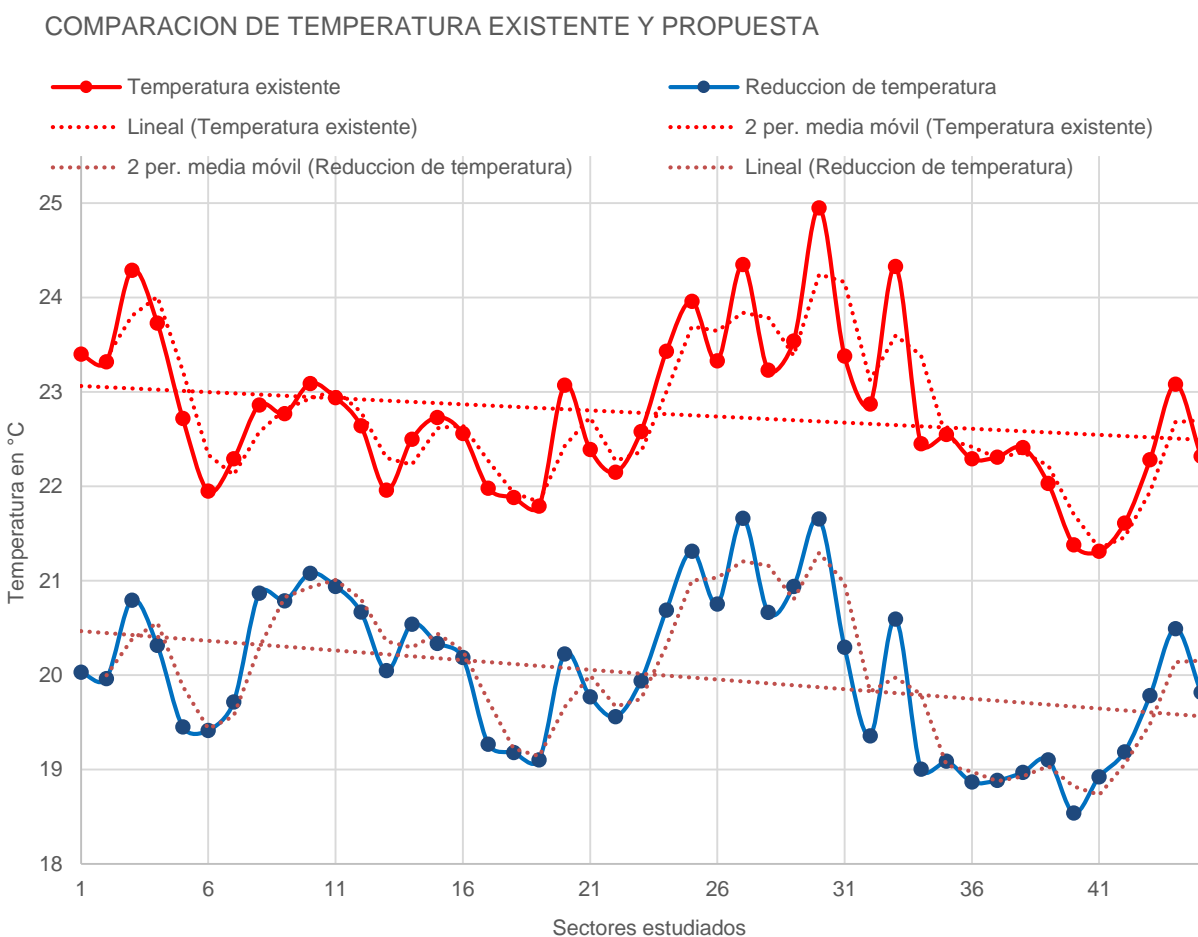
Es importante mencionar que aumentar la cantidad de áreas verdes y la utilización de materiales permeables podría aumentar significativamente la humedad relativa, lo que a su vez contribuiría a reducir aún más la temperatura. La presencia de áreas verdes y materiales permeables mejora el ciclo hidrológico urbano al permitir una mejor infiltración y

evapotranspiración, lo que en conjunto optimiza el microclima local y disminuye la demanda de refrigeración artificial.

Este aumento en la humedad relativa no solo ayuda a mitigar el calor, sino que también mejora la calidad del aire y fomenta un microclima más saludable. La implementación de estas estrategias impacta directamente en la sostenibilidad, reduciendo la necesidad de infraestructuras costosas para la gestión del agua y favoreciendo un entorno más resiliente ante el cambio climático. La diferencia en estos valores por sector se representa en la Figura 49.

**Figura 48**

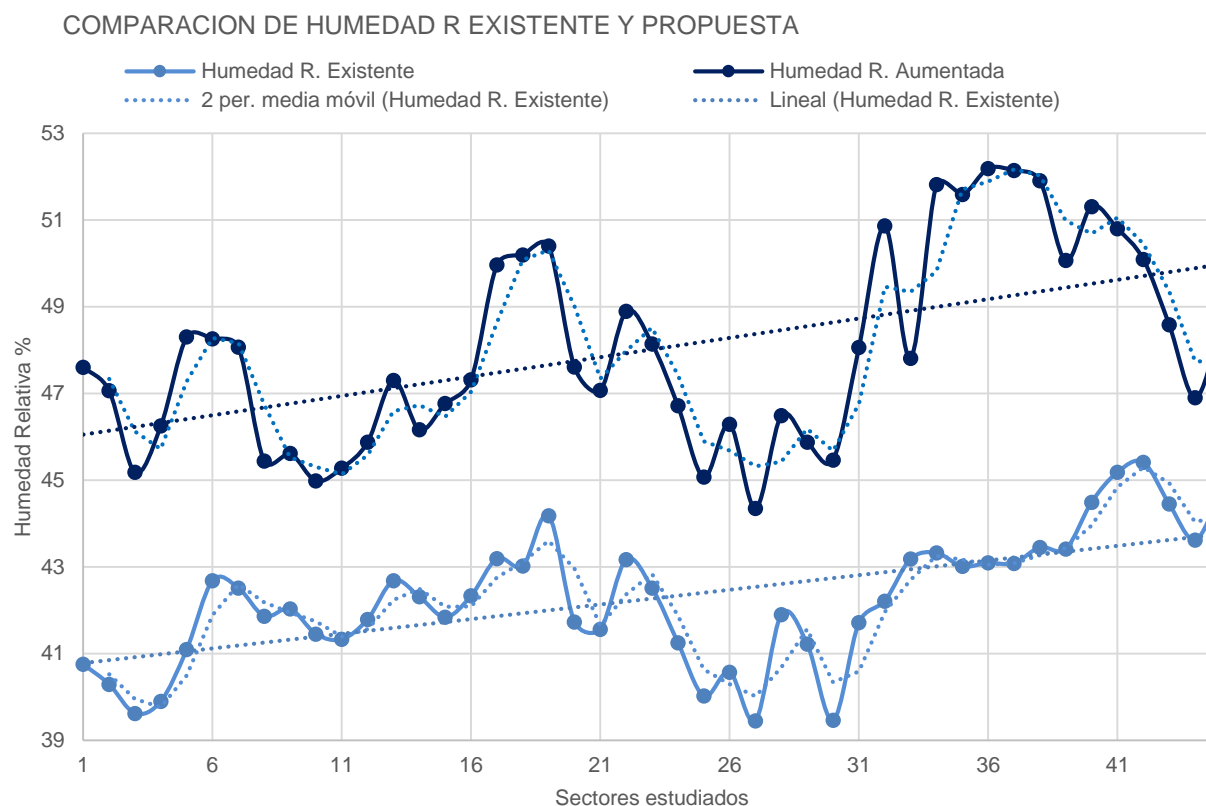
*Relación de temperatura medida en campo, y reducción a través de estrategias de mitigación pasiva.*



Fuente: Autoría propia.

**Figura 49**

*Relación de humedad relativa medida en campo, y aumento a través de estrategias de mitigación pasiva*



Fuente: Autoría propia.

A través de los resultados obtenidos, este estudio proporciona una base sólida para el desarrollo de políticas urbanas orientadas a la mitigación de islas de calor en la ciudad de Pasto. La efectividad demostrada de las intervenciones pasivas, que incluyen la implementación estratégica de arborización y el uso de materiales con propiedades térmicas específicas, sugiere la viabilidad de replicar estas soluciones en otras áreas urbanas con características similares.

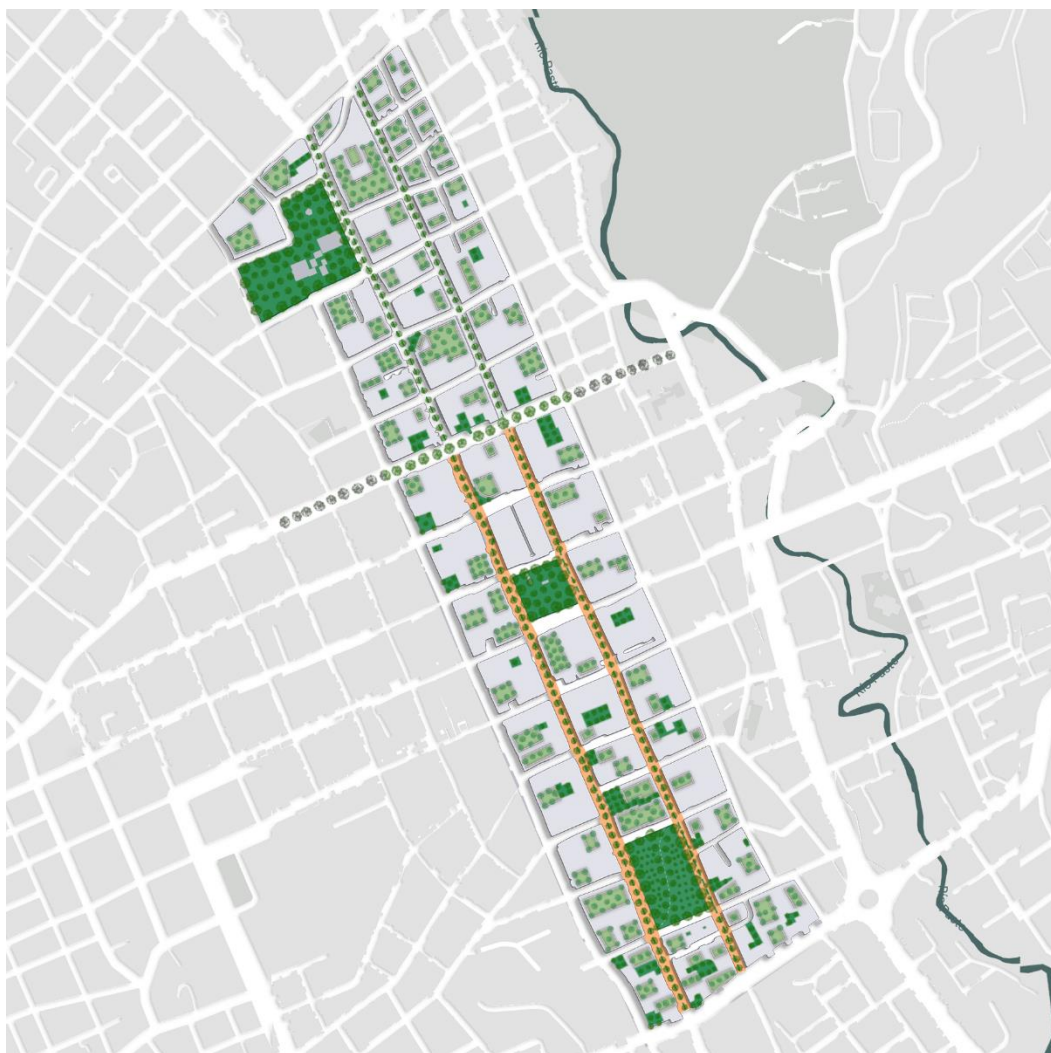
Tal como se puede apreciar en la figura 50, la aplicación sistemática de estas estrategias a lo largo del corredor norte-sur no solo ha logrado una reducción significativa de la temperatura superficial, sino que también ha mejorado las condiciones de habitabilidad del espacio público. Esta transformación demuestra cómo las intervenciones basadas en la naturaleza, combinadas

con la selección adecuada de materiales urbanos, pueden generar impactos positivos medibles en el microclima urbano sin comprometer la funcionalidad de los espacios existentes.

La evidencia recopilada respalda la necesidad de incorporar estos criterios de diseño urbano sostenible en los instrumentos de planificación municipal, estableciendo parámetros específicos para el tratamiento de superficies urbanas y la incorporación de infraestructura verde. Estos hallazgos podrían fundamentar la actualización de normativas de construcción, planes de ordenamiento territorial y programas de renovación urbana, promoviendo un desarrollo urbano más resiliente ante los efectos del cambio climático.

### **Figura 50**

*Imaginario de intervención pasiva: corredor norte-sur*



Fuente: Autoría propia.

## Conclusiones

La investigación sobre las islas de calor urbanas en la conexión norte-sur de Pasto, Nariño, ha demostrado ser un estudio innovador y relevante en el campo de la arquitectura y el urbanismo ambiental. A través de la recolección de datos y la aplicación de modelos ambientales, se ha identificado la importancia de abordar este fenómeno en el contexto de la ciudad de Pasto, caracterizada por su belleza natural y rica historia, pero también por desafíos ambientales como las islas de calor.

Uno de los aportes más significativos de esta investigación es el desarrollo de modelos cuantitativos que relacionan la eficacia de las estrategias de mitigación pasiva, como la arborización y la selección de materiales, con las características específicas de las edificaciones urbanas. En particular, se ha generado un insumo para construir un modelo predictivo que relaciona la distancia entre árboles, sus dimensiones y la proyección óptima de sombra sobre los espacios públicos. Este modelo novedoso, respaldado por mediciones empíricas y simulaciones digitales, permite optimizar el diseño urbano para maximizar su impacto en la mitigación de las islas de calor urbanas.

La evaluación de la eficacia de estas estrategias a través de simulaciones digitales en programas como RHINO GRASSHOPPER y su extensión LADYBUG, complementadas con datos empíricos recolectados en campo mediante un termo-higrómetro, ha permitido una comprensión más adecuada del fenómeno de las islas de calor en la ciudad, donde claramente se deberán considerar aspectos como la deficiencia de confort térmico y la materialidad de los espacios urbanos. Asimismo, la vinculación de la morfología edificatoria, como la altura de las edificaciones, su orientación y los materiales constructivos, son indispensables en la mitigación de la conducción y convección de calor por transformaciones antrópicas.

El estudio se fundamenta en un análisis riguroso de la relación entre la altura de los edificios, la proyección de sombras y la distancia entre unidades arbóreas, proporcionando una base cuantitativa sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas. Este enfoque cuantitativo y basado en datos establece un precedente para nuevas investigaciones en urbanismo ambiental o ecourbanismo.

La incorporación del "Dashboard de Resultados" como un recurso externo complementario permitió visualizar de manera efectiva los hallazgos principales. Este dashboard facilitó el análisis de parámetros como la efectividad promedio de la arborización (75,83%) y la contribución de las edificaciones (32%) en la reducción de temperatura, logrando una reducción

estimada de 4,07°C. Además, proporcionó un enfoque dinámico para ajustar factores como la altura de los árboles y la densidad de vegetación, evidenciando el impacto combinado de las estrategias de mitigación. Este recurso se pretende consolidar una herramienta clave para la definición de estrategias pasivas de mitigación y de libre consulta para la ciudadanía.

Finalmente, esta investigación no solo aborda el problema de las islas de calor urbanas en Pasto, sino que también ofrece un marco teórico y práctico para mitigar este fenómeno en otros contextos urbanos, por tanto, contribuye significativamente al desarrollo de estrategias urbanas sostenibles con enfoque de resiliencia.



### **Recomendaciones**

Los resultados de esta investigación tienen importantes implicaciones prácticas para abordar problemas relacionados con el confort térmico y la calidad de vida de los habitantes del municipio de Pasto. Las estrategias de mitigación propuestas pueden ser implementadas por la municipalidad en el proceso de pacificación de modos dentro del centro histórico, contribuyendo a un entorno urbano más sostenible y agradable. Se recomienda que la municipalidad de Pasto considere adaptar normas urbanísticas con enfoque sostenible para mejorar la calidad del ambiente urbano, aumentar el atractivo para peatones y turistas, e impactando positivamente a la resiliencia urbana.

Las estrategias de mitigación pasiva, como el aumento de la cobertura vegetal y el uso de materiales reflectantes, deberían implementarse en áreas estratégicas del centro histórico para reducir las temperaturas y mejorar el confort térmico en espacios públicos. Se sugiere realizar simulaciones adicionales con herramientas digitales como Rhino, Grasshopper Y Ladybug para ajustar y optimizar las intervenciones.

Es necesario complementar esta investigación con estudios futuros que analicen el impacto de las estrategias de mitigación en diferentes contextos urbanos, lo que permitirá una mayor generalización de los resultados y su aplicación en otras ciudades con características similares. Se recomienda desarrollar investigaciones comparativas donde la variable topografía se integre como una variable principal a fin de conocer la variación de microclimas en distintos puntos de la ciudad.

## Referencias

- Alchapar, N. L., & Correa, E. N. (2016). *Potencial de las herramientas de simulación para la planificación sustentable del desarrollo urbano*. En I Encuentro Nacional sobre Ciudad, Arquitectura y Construcción Sustentable (La Plata, 2016).
- Escobar Insuasti, T. P. (2020a). *Modelo de intervención para mitigar islas de calor urbanas en la conexión oriente-occidente de san Juan de Pasto, cra.27, cra.24, Cujacal, Mijitayo*. Trabajo de grado para optar por el título de Arquitecto. Universidad Cesmag.
- Escobar Insuasti, T. P. (2020b). *Modelo de intervención para mitigar islas de calor urbanas en la conexión oriente-occidente de san Juan de Pasto, cra.27, cra.24, Cujacal, Mijitayo*. Trabajo de grado para optar por el título de Arquitecto. Universidad Cesmag, 1-2.
- Escobar Insuasti, T. P. (2020c). *Modelo de intervención para mitigar islas de calor urbanas en la conexión oriente-occidente de san Juan de Pasto, cra.27, cra.24, Cujacal, Mijitayo*. Trabajo de grado para optar por el título de Arquitecto. Universidad Cesmag, 36-37.
- Godínez Tovar, A. G., & López Gutiérrez, M. (2018). *Dinámica de la isla de calor urbana y su efecto en la distribución espacio-temporal de la lluvia en las ciudades de Querétaro y San Juan del Río*.
- Gómez Azpeitia, G., Bojórquez Morales, G., & Ruiz Torres, R. P. (2007). *El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados*. Palapa, 2(1), 45-57.
- Guzmán, M. H. F., & Ochoa, J. M. (n.d.). *Confort térmico en los espacios públicos urbanos. Clima cálido y frío semi-seco*. Revista Hábitat Sustentable, 4(2), 52-63.
- Hoyos Gómez, L. S. (2021). *Forecasting global solar radiation in Nariño*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia, 65-66.
- Maldonado, L. M. (2022). *Mitigación y adaptación al efecto de isla de calor urbana de clima cálido seco. El caso de Hermosillo, Sonora*. Vivienda y Comunidades Sustentables, (11), 85-110.
- Middel, A., Häb, K., Brazel, A. J., Martin, C. A., & Guhathakurta, S. (2014). Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. *Landscape and urban planning*, 122, 16-28.
- Monreal, J. N., Neguillón, R. H., Garmendia, O. I., Moriano, A. S., Gozalo, D. O., & Tavakoli, N. (2014). *Elaboración de un modelo de diagrama de confort que permita la mejora ambiental de espacios urbanos mediante estrategias de ecodiseño*. En Greencities & sostenibilidad: Málaga, 2-3 oct 2014: inteligencia aplicada a la sostenibilidad urbana: comunicaciones y

- 2ª bienal de proyectos de edificación y urbanismo sostenible (pp. 426-439). Ayuntamiento de Málaga.
- Montoya Morales, E. F., & Castellanos Jimenez, J. V. (2020). *Revisión y caracterización del fenómeno de las Islas de Calor Urbanas (ICU) con énfasis en el caso colombiano*.
- Navarro Muriel, K. A. (2020a). *La concepción de hábitat, una ciudad proyectada desde la biodiversidad*. Trabajo de grado para optar por el título de Arquitecto. Universidad Cesmag, 1-2.
- Navarro Muriel, K. A. (2020b). *La concepción de hábitat, una ciudad proyectada desde la biodiversidad*. Trabajo de grado para optar por el título de Arquitecto. Universidad Cesmag, 23-24.
- Roudsari, M. S., & Pak, M. (2013). *Ladybug: A parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design*. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/287778694\\_Ladybug\\_A\\_parametric\\_environmental\\_plugin\\_for\\_grasshopper\\_to\\_help\\_designers\\_create\\_an\\_environmentally-conscious\\_design](https://www.researchgate.net/publication/287778694_Ladybug_A_parametric_environmental_plugin_for_grasshopper_to_help_designers_create_an_environmentally-conscious_design)
- Salas Pérez, C., & Coy Castro, D. F. (2019). *Análisis espacial de islas de calor en la ciudad de Bogotá: los efectos de la urbanización, un estudio desde la teledetección*.
- Salinas, J. A. G. *Criterios para la planificación y diseño de los corredores fluviales urbanos para la mitigación de la isla de calor*.
- Zuluaga Gómez, S. C., Londoño Arango, F., Parra Correa, E., Arango Díaz, L., & Salazar Trujillo, J. H. (2023). El impacto de la arborización como estrategia de mitigación de la isla de calor urbana en el Caribe colombiano. *Revista Científica De Arquitectura Y Urbanismo*, 44(2), 34–41. Recuperado a partir de <https://rau.cujae.edu.cu/index.php/revistaau/article/view/778>

Anexo A. Diario de campo de recolección de variables ambientales del 28/08/23- 1/09/23

UNIVERSIDAD CESMAG FACULTAD DE ARQUITECTURA Y BELLAS ARTES		INVESTIGACIÓN: ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN PASIVA PARA REDUCIR EL IMPACTO DE LAS ISLAS DE CALOR URBANAS: ESTUDIO DE CASO EN LA CONEXION VAL NORTE-SUR DE LAS CALLES 18 Y 19 EN PASTO, NARIÑO.		FORMATO N° REGISTRO TOTAL VARIABLES AMBIENTALES N° 0005								
DARIO DE CAMPO. RECOLECCION DE DATOS AMBIENTALES A PARTIR DE MEDICIONES EN CAMPO EN LA CONEXION NORTE-SUR POR LAS CALLES 18 Y 19		FECHA MEDICIONES 1 de Septiembre del 2024 12:44:00 p. m. 12:50:00 p. m.		DESCRIPCION CONDICIONES AMBIENTALES								
COORDENADAS		HORA INICIO HORA FINAL DISPOSITIVO MEDICION		OBSERVACION								
X	Y	28/08/2023	29/08/2023	30/08/2023	10/09/2023							
SECTOR	PROMEDIO HORA	TEMP °C	HR %	TEMP °C	HR %							
VEGETACION	MATERIAL	TEMP °C	HR %	TEMP °C	HR %							
1	12:46:00.3 p. m.	23.8	40.9	26.8	31.4	22.1	44.8	20.6	47.3	23.7	39.35	Concreto rígido pigmentado
2	12:47:00 p. m.	24.3	40.5	26.5	30.8	22.1	43.2	20.3	47.3	23.4	39.25	Concreto rígido pigmentado
3	12:48:00 p. m.	26.4	38.3	27.2	30.9	23.8	40.7	20.3	48.5	23.75	38.7	Concreto rígido pigmentado
4	12:49:00 p. m.	26.7	36.1	25.6	32.5	23.1	42.2	20.1	46.3	22.95	40.4	Adoquin concreto c.gris
5	12:50:00 p. m.	25.5	37.6	23.8	34.6	22.7	43.2	19.8	48.3	21.8	41.55	Adoquin concreto c.gris
6	12:51:00 p. m.	22.2	43.5	24.8	32.6	21.7	45.4	19.1	50.4	21.95	41.5	Adoquin concreto c.gris
7	12:52:00 p. m.	20.8	46	27.3	29.4	20.9	47.3	19.2	50.1	23.25	39.75	Concreto incrustaciones granito
8	12:53:00 p. m.	21.6	46.4	27.3	29	23.1	42.9	19.1	51	23.2	40	Concreto incrustaciones granito
9	12:54:00 p. m.	22	45	26.6	31.4	22.4	44.4	19.7	49.1	23.15	40.25	Concreto pulido
10	12:55:00 p. m.	22.3	44.5	27.8	29.3	22.2	44.4	19.5	48.6	23.65	39.45	Concreto pulido
11	12:56:00 p. m.	23.9	41.1	27.4	29.6	21.5	44.8	18.8	50.9	23.1	40.25	Concreto pulido blanco
12	12:57:00 p. m.	24.5	39.4	25.1	33.2	21.8	44.6	19.5	50.1	22.3	41.65	Concreto pulido blanco
13	12:58:00 p. m.	23.1	41.8	24.1	35	21.9	44.1	19.1	50	21.6	42.5	Baldosa c. terracota
14	12:59:00 p. m.	23.2	42.2	26	32.1	21.8	44.4	19	51.2	22.5	41.65	Baldosa c. terracota
15	1:00:00 p. m.	23	42.1	27	29.8	21.2	45.3	19.3	51.4	23.15	40.6	Baldosa c. terracota
16	1:01:00 p. m.	22.1	43.6	25.8	33.9	22	44	20	48.8	22.9	41.35	Baldosa c. terracota
17	1:02:00 p. m.	22.4	43.3	25	33.6	22.4	43.2	18.4	52.7	21.7	43.15	Baldosa c. terracota
18	1:03:00 p. m.	23.4	41.7	23.9	34.2	22.1	43.2	18.7	52.6	21.3	43.4	Baldosa c. terracota
19	1:03:00 p. m.	24.2	40.2	22.9	38.2	22.2	43.3	18.8	53.4	20.85	45.8	Baldosa c. terracota
20	1:04:00 p. m.	25.4	37.1	26.5	32.1	21.7	44.8	19	51.8	22.75	42.25	Baldosa c. terracota
21	1:05:00 p. m.	25.8	35	25.2	31.4	20	47.7	18.9	52	22.05	41.7	Baldosa c. terracota
22	1:06:00 p. m.	24	38.7	25.2	34.8	20.3	48	19.1	51.3	22.15	43.05	Concreto pulido
23	1:07:00 p. m.	25.5	36.9	25.6	34.3	20.8	47.1	18.8	51.4	22.2	42.85	Baldosa c. terracota
24	1:08:00 p. m.	26.8	35.2	26.4	32.8	21.8	45.5	19.3	50.9	22.85	41.85	Baldosa c. terracota
25	1:09:00 p. m.	26.2	37.2	28	28.7	22.3	43.8	19.2	50.7	24.1	38.7	Ceramica beige
26	1:10:00 p. m.	26.6	35.2	26.5	32.3	21.5	42.4	19.2	51.2	22.85	41.75	Ceramica beige
27	1:11:00 p. m.	25.6	35	28.9	29.9	23.4	41.8	19.6	50.4	24.25	40.15	Adoquin concreto c.gris
28	1:12:00 p. m.	25.2	36.9	26.5	33.4	22.4	43.6	19.2	52.6	22.85	43	Adoquin concreto c.gris
29	1:13:00 p. m.	25.2	37.8	27.7	29.8	22	44.4	19.3	52.8	23.5	41.3	Ceramica beige
30	1:14:00 p. m.	26.2	35.2	30.3	27.7	23.7	40.9	19.6	53.1	24.95	40.4	Concreto pulido
31	1:15:00 p. m.	24.8	37.6	27.1	31.2	22.5	43	19.3	54.1	23.2	42.65	Granito pulido
32	1:16:00 p. m.	24.5	38.4	25.9	32.9	22.5	43.2	19	53.4	22.45	43.15	Adoquin concreto c.gris
33	1:17:00 p. m.	25.7	37.5	29.6	35	22.9	42.2	19.1	55.8	24.35	45.4	Baldosa c. terracota
34	1:18:00 p. m.	25.8	36.6	23.7	36.2	22.7	42.9	18.8	55.2	21.25	45.7	Concreto gris
35	1:19:00 p. m.	27.4	34.1	23.4	37.5	22.2	43.4	18.7	54.2	21.05	45.65	Concreto gris
36	1:20:00 p. m.	26.7	35.7	23.2	36.4	22.2	43.7	18.5	54.3	20.85	45.35	Concreto gris
37	1:21:00 p. m.	26.1	36.6	23.9	36.2	21.7	45.8	18.6	53.8	21.25	46	Concreto incrustaciones granito
38	1:22:00 p. m.	25.7	37.2	24.2	35.1	22	44.3	18.7	55.4	21.45	45.23	Concreto gris
39	1:23:00 p. m.	23.1	39.9	24.7	33.9	21.8	43.8	18.8	55	21.75	44.45	Concreto gris
40	1:24:00 p. m.	22.9	40.9	24	36	21.7	44.9	18.2	55.1	21.1	46.55	Concreto incrustaciones granito
41	1:25:00 p. m.	22.3	41.9	23.8	36	21.1	46	18.3	56	21.05	46	Concreto gris
42	1:26:00 p. m.	22.6	42.6	24.2	35.7	21.4	45.4	18.5	57	21.35	46.35	Concreto blanco
43	1:27:00 p. m.	22.7	42.4	25.9	33.6	21.8	44.7	18.7	56.5	22.3	45.05	Ceramica gris
44	1:28:00 p. m.	22.8	42.3	28.1	29.4	22.4	43.8	18.7	58.6	23.4	44	Concreto gris
45	1:29:00 p. m.	22.3	43	27.1	30.7	21.5	45.1	18.1	59.6	22.6	45.15	Concreto gris

Reducción de la sensación térmica corpora debido a la sombra proyectada por edificaciones, lo que resulta en una sensación de frescura y confort térmico en comparación con áreas expuestas al sol directo.

se observó un aumento significativo en la temperatura percibida en la planta de los pies, atribuido a la acumulación de radiación solar en el suelo durante el proceso de medición.

Fuente: Autoría propia.

## Anexo B. Cálculo de eficiencia de sombra proyecta por altura de árboles

Medidas		Estudio de la altura de los compontes arboreos y su eficiencia sobre proyeccion de sombra									
Areas	Radio	Volumen	Tipo de Proyeccion nivel bajo			Tipo de Proyeccion nivel medio			Tipo de Proyeccion nivel alto		
			Concentrada	Media	Difusa	Concentrada	Media	Difusa	Concentrada	Media	Difusa
1	0,56	0,59	1,21	1,49	24,58	0,43	1,66	11,97	0,07	0,76	14,47
2	0,80	2,14	2,41	2,97	49,15	0,86	3,31	23,93	0,04	1,53	28,95
4	1,13	5,09	4,82	5,95	98,31	1,73	6,63	47,87	0,02	3,05	57,89
8	1,60	17,01	9,64	11,89	196,62	3,46	13,25	95,74	0,01	6,10	115,78
16	2,26	57,10	19,28	23,78	393,24	6,92	26,50	191,48	0,00	12,20	231,56
32	3,19	144,10	38,56	47,56	786,48	13,83	53,01	382,96	0,00	24,40	463,13
64	4,493	425,94	77,12	95,12	1572,95	27,66	106,01	765,91	0,00	48,8	926,25
			153,04	188,75	3121,32	54,89	210,36	1519,85	0,14	96,84	1838,03
			612,14	377,51	3121,32	219,55	420,73	1519,85	0,55	193,68	1838,03
			4110,97	100%	2160,13	52,55%	2032,25	49,43%			

Fuente: Autoría propia.

## Anexo C. Cálculo de eficiencia por densidad arbórea según sus dimensiones

		25%	50%	75%	100%	
<b>Baja</b>	<b>Area</b>	1,56%	1,09%	0,81%	0,87%	1
		3,13%	2,18%	1,62%	1,75%	2
		6,25%	4,36%	3,24%	3,50%	4
		12,50%	8,71%	6,48%	7,00%	8
		25,01%	17,42%	12,95%	14,00%	16
		50,00%	34,83%	25,88%	27,98%	32
		100,00%	69,64%	51,77%	55,96%	64
<b>Media</b>	<b>Area</b>	0,69%	0,48%	0,35%	0,38%	1
		1,37%	0,95%	0,71%	0,77%	2
		2,74%	1,91%	1,42%	1,54%	4
		5,48%	3,82%	2,84%	3,07%	8
		10,97%	7,64%	5,68%	6,14%	16
		21,93%	15,27%	11,35%	12,27%	32
		43,86%	30,54%	22,70%	24,54%	64
<b>Alta</b>	<b>Area</b>	1,53%	1,37%	1,61%	2,30%	1
		1,76%	1,37%	1,29%	1,65%	2
		2,74%	1,91%	1,42%	1,54%	4
		5,10%	3,41%	2,26%	2,19%	8
		9,93%	6,54%	4,14%	3,78%	16
		19,86%	13,08%	8,28%	7,57%	32
		39,72%	26,16%	16,55%	15,13%	64

Fuente: Autoría propia.

### Anexo D. Cálculo de eficiencia por trayectoria lineal y dimensiones de árboles

0			82%	0			36%	0		
Concentrada	Media	Difusa		Concentrada	Media	Difusa		Concentrada	Media	Difusa
2425,28	1330,65	4987,82		1063,65	583,58	2187,50		1024,14	657,80	2465,72
8743,75	11	3,44		3834,73	11	1,51		4147,66	11	1,45
0,5				0,5				0,5		
Concentrada	Media	Difusa	100%	Concentrada	Media	Difusa	44%	Concentrada	Media	Difusa
1879,16	1211,60	5153,61		824,14	531,37	2260,21		793,53	598,95	2547,68
8244,38	7	4,19		3615,72	7	1,84		3940,16	7	1,77
1				1				1		
Concentrada	Media	Difusa	93%	Concentrada	Media	Difusa	41%	Concentrada	Media	Difusa
1490,42	1103,84	5266,25		653,65	484,11	2309,61		629,37	545,68	2603,36
7860,51	6	3,88		3447,37	6	1,70		3778,41	6	1,64
2				2				2		
Concentrada	Media	Difusa	73%	Concentrada	Media	Difusa	32%	Concentrada	Media	Difusa
985,43	1441,46	5393,44		432,18	632,18	2365,39		416,13	712,58	2666,24
7820,34	5	3,08		3429,75	5	1,35		3794,95	5	1,30
3				3				3		
Concentrada	Media	Difusa	66%	Concentrada	Media	Difusa	29%	Concentrada	Media	Difusa
706,00	1298,84	5525,62		309,63	569,63	2423,36		298,13	642,08	2731,58
7530,46	4	2,76		3302,62	4	1,21		3671,79	4	1,16
4				4				4		
Concentrada	Media	Difusa	72%	Concentrada	Media	Difusa	31%	Concentrada	Media	Difusa
577,01	941,84	5662,78		253,06	413,06	2483,52		243,66	465,60	2799,39
7181,64	3	3,01		3149,64	3	1,32		3508,64	3	1,27

Fuente: Autoría propia.

### Anexo E. Cálculo de eficiencia según el tipo de vulnerabilidad presente

Medidas			Estudio del componente de cobertura arborea, sobre el tipo de vegetacion								
Areas m2	Radio	Volumen	Vulnerabilidad altura nivel bajo			Vulnerabilidad altura nivel medio			Vulnerabilidad altura nivel alto		
			Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
1	0,56	0,59	0,53%	0,96%	1,56%	0,05%	1,07%	0,66%	0,04%	0,49%	0,92%
2	0,80	2,14	1,05%	1,91%	3,13%	0,10%	2,13%	1,32%	0,02%	0,98%	1,84%
4	1,13	5,09	2,11%	3,83%	6,25%	0,21%	4,27%	2,65%	0,01%	1,96%	3,68%
8	1,60	17,01	4,21%	7,66%	12,50%	0,42%	8,54%	5,29%	0,00%	3,93%	7,36%
16	2,26	57,10	8,42%	15,32%	25,00%	0,84%	17,07%	10,58%	0,00%	7,86%	14,72%
32	3,19	144,10	16,84%	30,63%	50,00%	1,67%	34,14%	21,17%	0,00%	15,72%	29,44%
64	4,493	425,94	33,69%	61,27%	100,00%	3,35%	68,28%	42,34%	0,00%	31,43%	58,89%
Difusa	1		0,67	1,22	1,98	0,07	1,35	0,84	0,00	0,62	1,17
Media	2		2,67	2,43	1,98	0,27	2,71	0,84	0,00	1,25	1,17
Concentrada	4										
			7,09	100%		3,82	53,82%		2,42	34,12%	

Fuente: Autoría propia.

### Anexo F. Cálculo de eficiencia de sombra según altura del edificio

Pisos edificio	Altura	Tipos de sombra			Total	Relacion valores-cantidad de sombra	Relacion sombra difusa	Relacion sombra media	Relacion sombra concentrada	% Efectividad
		Concentrada	Media	Difusa						
1	2,50	102,00	201,50	587,52	891,02	356,41	11%	12%	13%	85%
2	5,00	184,56	412,12	1012,55	1609,23	321,85	19%	24%	24%	76%
3	7,50	301,15	617,15	1895,42	2813,72	375,16	35%	36%	39%	89%
4	10,00	379,55	801,52	2815,98	3997,05	399,71	52%	47%	49%	95%
5	12,50	495,50	1012,25	3756,50	5264,25	421,14	69%	60%	64%	100%
6	15,00	598,89	1565,15	3916,23	6080,27	405,35	72%	92%	77%	96%
7	17,50	680,45	1589,88	4801,65	7071,98	404,11	89%	94%	87%	96%
8	20,00	777,89	1700,25	5418,33	7896,47	394,82	100%	100%	100%	94%

Fuente: Autoría propia.

Anexo G. Intervención sector 1, muestra cuantificada de intervenciones pasivas

UNIVERSIDAD CESMAG FACULTAD DE ARQUITECTURA Y BELLAS ARTES		FORMATO N° 3 DESCRIPCIÓN DE ÁREAS ZONAS DE INTERVENCIÓN N° 0001																																																											
<p>En esta sección, se presentan los resultados de la intervención mediante estrategias pasivas para mitigar las islas de calor urbano en el Sector 1. Se detalla el uso de cada componente, incluyendo su cantidad total y el área cubierta, así como la reducción de temperatura y su eficacia en comparación con otras intervenciones. Se destaca el uso de materiales con una inercia térmica baja y efecto albedo alto para lograr estos objetivos.</p>		<p>INVESTIGACIÓN: ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN PASIVA PARA REDUCIR EL IMPACTO DE LAS ISLAS DE CALOR URBANAS: ESTUDIO DE CASO EN LA CONEXIÓN VIAL NORTE-SUR DE LAS CALLES 18 Y 19 EN PASTO, NARIÑO</p>	<p>DESCRIPCIÓN CONDICIONES DE SELECCIÓN: NO PEMP-VULNERABILIDAD MEDIA SECTORES CONTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE CAMPO 2-3-4-5</p>																																																										
<p>TEMPERATURA PROMEDIO RECOLECTADA</p> <p>HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO RECOLECTADA</p>		<p>TEMPERATURA PROMEDIO ALCANZADA</p> <p>HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO ALCANZADA</p>	<p>19,98</p> <p>47,06%</p>																																																										
<p>GRÁFICO DE EFECTIVIDAD TEMPERATURA</p> <p>TEMPERATURA ACTUAL Y REDUCCIÓN</p>		<p>GRÁFICO DE EFECTIVIDAD % HUMEDAD RELATIVA</p> <p>HUMEDAD ACTUAL Y AUMENTO</p>																																																											
<p>CONDICIONES EXISTENTE SOBRE MATERIALES</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>MATERIAL</th> <th>INERCIA TÉRMICA</th> <th>%ALBEDO</th> <th>AUMENTO TEMPERATURA °C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO</td><td>2000</td><td>35</td><td>4.0</td></tr> <tr><td>ASFALTO COMUN</td><td>1400</td><td>10</td><td>4.5</td></tr> <tr><td>ADQUIN CONCRETO C. GRIS</td><td>2000</td><td>25</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>ADQUIN POLICARBONATO</td><td>1400</td><td>20</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>ADQUIN CONCRETO C. GRIS</td><td>2000</td><td>25</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>CONCRETO PULIDO</td><td>2000</td><td>50</td><td>3.8</td></tr> </tbody> </table>		MATERIAL	INERCIA TÉRMICA	%ALBEDO	AUMENTO TEMPERATURA °C	CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO	2000	35	4.0	ASFALTO COMUN	1400	10	4.5	ADQUIN CONCRETO C. GRIS	2000	25	3.0	ADQUIN POLICARBONATO	1400	20	3.0	ADQUIN CONCRETO C. GRIS	2000	25	3.0	CONCRETO PULIDO	2000	50	3.8	<p>ANÁLISIS DE TEMPERATURA SOBRE ÁREAS URBANAS DE USO PEATONAL</p>	<p>ANÁLISIS DE TEMPERATURA SOBRE CUBIERTAS EDIFICACIONES</p>																														
MATERIAL	INERCIA TÉRMICA	%ALBEDO	AUMENTO TEMPERATURA °C																																																										
CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO	2000	35	4.0																																																										
ASFALTO COMUN	1400	10	4.5																																																										
ADQUIN CONCRETO C. GRIS	2000	25	3.0																																																										
ADQUIN POLICARBONATO	1400	20	3.0																																																										
ADQUIN CONCRETO C. GRIS	2000	25	3.0																																																										
CONCRETO PULIDO	2000	50	3.8																																																										
<p>CONDICIONES EXISTENTE SOBRE COMPONENTES ARBÓREOS Y ÁREAS VERDES</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESPECIFICACIONES</th> <th>UNIDADES</th> <th>TEMPERATURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>COBERTURA VEGETAL</td><td>19</td><td></td></tr> <tr><td>ÁREA COBERTURA VEGETAL</td><td>322</td><td></td></tr> <tr><td>ÁREA PROY. SOMBRA TOTAL</td><td>2072.52</td><td></td></tr> <tr><td>COBERTURA VEGETAL ENISTENTE</td><td>91.56</td><td>4 °C</td></tr> <tr><td>MEDIA</td><td>113.05</td><td>2 °C</td></tr> <tr><td>DIFUSA</td><td>1867.89</td><td>1 °C</td></tr> <tr><td>ÁREA ZONA VERDE</td><td>471.33</td><td>3.5</td></tr> </tbody> </table>		ESPECIFICACIONES	UNIDADES	TEMPERATURA	COBERTURA VEGETAL	19		ÁREA COBERTURA VEGETAL	322		ÁREA PROY. SOMBRA TOTAL	2072.52		COBERTURA VEGETAL ENISTENTE	91.56	4 °C	MEDIA	113.05	2 °C	DIFUSA	1867.89	1 °C	ÁREA ZONA VERDE	471.33	3.5	<p>PROPIUESTA DE CAMBIO DE MATERIALES SOBRE ÁREA ESPECÍFICA DE ESTUDIO</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>MATERIAL PROPUESTO</th> <th>INERCIA TÉRMICA</th> <th>% ALBEDO</th> <th>REDUCCIÓN TEMPERATURA</th> <th>EFICIENCIA COMPARACION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO C</td><td>22000</td><td>45</td><td>2.5</td><td>62.5%</td></tr> <tr><td>ASFALTO PERMEABLE</td><td>12000</td><td>25</td><td>1.5</td><td>33.3%</td></tr> <tr><td>ADQUINES COLORES CLAROS</td><td>2000</td><td>35</td><td>1.5</td><td>50.0%</td></tr> <tr><td>ADQUIN POLICARBONATO</td><td>1400</td><td>20</td><td>1.5</td><td>16.7%</td></tr> <tr><td>ADQUIN COLOR BLANCOS</td><td>2000</td><td>45</td><td>2</td><td>66.7%</td></tr> <tr><td>CONCRETO PERMEABLE</td><td>18000</td><td>35</td><td>2</td><td>53.3%</td></tr> </tbody> </table>	MATERIAL PROPUESTO	INERCIA TÉRMICA	% ALBEDO	REDUCCIÓN TEMPERATURA	EFICIENCIA COMPARACION	CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO C	22000	45	2.5	62.5%	ASFALTO PERMEABLE	12000	25	1.5	33.3%	ADQUINES COLORES CLAROS	2000	35	1.5	50.0%	ADQUIN POLICARBONATO	1400	20	1.5	16.7%	ADQUIN COLOR BLANCOS	2000	45	2	66.7%	CONCRETO PERMEABLE	18000	35	2	53.3%
ESPECIFICACIONES	UNIDADES	TEMPERATURA																																																											
COBERTURA VEGETAL	19																																																												
ÁREA COBERTURA VEGETAL	322																																																												
ÁREA PROY. SOMBRA TOTAL	2072.52																																																												
COBERTURA VEGETAL ENISTENTE	91.56	4 °C																																																											
MEDIA	113.05	2 °C																																																											
DIFUSA	1867.89	1 °C																																																											
ÁREA ZONA VERDE	471.33	3.5																																																											
MATERIAL PROPUESTO	INERCIA TÉRMICA	% ALBEDO	REDUCCIÓN TEMPERATURA	EFICIENCIA COMPARACION																																																									
CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO C	22000	45	2.5	62.5%																																																									
ASFALTO PERMEABLE	12000	25	1.5	33.3%																																																									
ADQUINES COLORES CLAROS	2000	35	1.5	50.0%																																																									
ADQUIN POLICARBONATO	1400	20	1.5	16.7%																																																									
ADQUIN COLOR BLANCOS	2000	45	2	66.7%																																																									
CONCRETO PERMEABLE	18000	35	2	53.3%																																																									
<p>CONDICIONES DE MEJORA BASADO EN EL USO DE LA PROTECCIÓN DE SOMBRA ACUMULADA A TRAVÉS DE ARBOLES E INCREMENTO DE ZONAS VERDES</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>COBERTURA VEGETAL</th> <th>UNIDADES O M2</th> <th>REDUCCIÓN DE TEMPERATURA</th> <th>EFICIENCIA ÁREA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>UNIDADES AMADIDAD</td><td>97</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>ÁREA COBERTURA VEGETAL ANADIDA</td><td>2980</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>ÁREA PROY. SOMBRA TOTAL ANADIDA</td><td>37645.34</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>COCNETRADA</td><td>929.02</td><td>4 °C</td><td>2.5%</td></tr> <tr><td>MEDIA</td><td>4317.56</td><td>2 °C</td><td>11.5%</td></tr> <tr><td>DIFUSA</td><td>32388.74</td><td>1 °C</td><td>85.1%</td></tr> <tr><td>ÁREA ZONA VERDE ANADIDA</td><td>7363.7</td><td>3.5</td><td></td></tr> </tbody> </table>		COBERTURA VEGETAL	UNIDADES O M2	REDUCCIÓN DE TEMPERATURA	EFICIENCIA ÁREA	UNIDADES AMADIDAD	97			ÁREA COBERTURA VEGETAL ANADIDA	2980			ÁREA PROY. SOMBRA TOTAL ANADIDA	37645.34			COCNETRADA	929.02	4 °C	2.5%	MEDIA	4317.56	2 °C	11.5%	DIFUSA	32388.74	1 °C	85.1%	ÁREA ZONA VERDE ANADIDA	7363.7	3.5																													
COBERTURA VEGETAL	UNIDADES O M2	REDUCCIÓN DE TEMPERATURA	EFICIENCIA ÁREA																																																										
UNIDADES AMADIDAD	97																																																												
ÁREA COBERTURA VEGETAL ANADIDA	2980																																																												
ÁREA PROY. SOMBRA TOTAL ANADIDA	37645.34																																																												
COCNETRADA	929.02	4 °C	2.5%																																																										
MEDIA	4317.56	2 °C	11.5%																																																										
DIFUSA	32388.74	1 °C	85.1%																																																										
ÁREA ZONA VERDE ANADIDA	7363.7	3.5																																																											

Fuente: Autoría propia.





Anexo H. Intervención sector 2, muestra cuantificada de intervenciones pasivas

UNIVERSIDAD CESMAG FACULTAD DE ARQUITECTURA Y BELLAS ARTES		FORMATO N° 3 DESCRIPCIÓN DE AREAS ZONAS DE INTERVENCIÓN N° 0002																																																																																																																														
<p>En esta sección, se presentan los resultados de la intervención mediante estrategias pasivas para mitigar las islas de calor urbano en el Sector 1. Se detalla el uso de cada componente, incluyendo su cantidad total y el área cubierta, así como la reducción de temperatura y su eficacia en comparación con otras intervenciones. Se destaca el uso de materiales con una inercia térmica baja y efecto albedo alto para lograr estos objetivos.</p>		<p>DESCRIPCIÓN CONDICIONES DE SELECCIÓN: ZONA PEMP-VULNERABILIDAD MEDIA SECTORES CONTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE CAMPO 8-9-10-11-12-13-14</p>																																																																																																																														
<p>TEMPERATURA PROMEDIO RECOLECTADA HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO RECOLECTADA</p>		<p>TEMPERATURA PROMEDIO ALCANIZADA HUMEDAD RELATIVA ALCANIZADA</p>																																																																																																																														
<p>22,94 41,33</p>		<p>20,94 45,28</p>																																																																																																																														
<p>GRAFICO DE EFECTIVIDAD TEMPERATURA TEMPERATURA ACTUAL Y REDUCCION</p> <table border="1"> <caption>TEMPERATURA ACTUAL Y REDUCCION</caption> <thead> <tr> <th>MATERIAL</th> <th>TEMPERATURA ACTUAL (°C)</th> <th>TEMPERATURA REDUCCION (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>14</td><td>35.5</td><td>29.2</td></tr> <tr><td>13</td><td>30.0</td><td>25.0</td></tr> <tr><td>12</td><td>29.7</td><td>24.8</td></tr> <tr><td>11</td><td>29.2</td><td>24.3</td></tr> <tr><td>10</td><td>28.5</td><td>23.6</td></tr> <tr><td>9</td><td>28.3</td><td>23.4</td></tr> <tr><td>8</td><td>28.2</td><td>23.3</td></tr> <tr><td>7</td><td>28.1</td><td>23.2</td></tr> <tr><td>6</td><td>28.0</td><td>23.1</td></tr> <tr><td>5</td><td>27.9</td><td>23.0</td></tr> <tr><td>4</td><td>27.8</td><td>22.9</td></tr> <tr><td>3</td><td>27.7</td><td>22.8</td></tr> <tr><td>2</td><td>27.6</td><td>22.7</td></tr> <tr><td>1</td><td>27.5</td><td>22.6</td></tr> </tbody> </table>		MATERIAL	TEMPERATURA ACTUAL (°C)	TEMPERATURA REDUCCION (°C)	14	35.5	29.2	13	30.0	25.0	12	29.7	24.8	11	29.2	24.3	10	28.5	23.6	9	28.3	23.4	8	28.2	23.3	7	28.1	23.2	6	28.0	23.1	5	27.9	23.0	4	27.8	22.9	3	27.7	22.8	2	27.6	22.7	1	27.5	22.6	<p>GRAFICO DE EFECTIVIDAD % HUMEDAD RELATIVA HUMEDAD ACTUAL Y AUMENTO</p> <table border="1"> <caption>HUMEDAD ACTUAL Y AUMENTO</caption> <thead> <tr> <th>MATERIAL</th> <th>HUMEDAD ACTUAL (%)</th> <th>HUMEDAD AUMENTO (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>14</td><td>41.33</td><td>45.28</td></tr> <tr><td>13</td><td>41.33</td><td>45.28</td></tr> <tr><td>12</td><td>41.33</td><td>45.28</td></tr> <tr><td>11</td><td>41.33</td><td>45.28</td></tr> <tr><td>10</td><td>41.33</td><td>45.28</td></tr> <tr><td>9</td><td>41.33</td><td>45.28</td></tr> <tr><td>8</td><td>41.33</td><td>45.28</td></tr> <tr><td>7</td><td>41.33</td><td>45.28</td></tr> <tr><td>6</td><td>41.33</td><td>45.28</td></tr> <tr><td>5</td><td>41.33</td><td>45.28</td></tr> <tr><td>4</td><td>41.33</td><td>45.28</td></tr> <tr><td>3</td><td>41.33</td><td>45.28</td></tr> <tr><td>2</td><td>41.33</td><td>45.28</td></tr> <tr><td>1</td><td>41.33</td><td>45.28</td></tr> </tbody> </table>		MATERIAL	HUMEDAD ACTUAL (%)	HUMEDAD AUMENTO (%)	14	41.33	45.28	13	41.33	45.28	12	41.33	45.28	11	41.33	45.28	10	41.33	45.28	9	41.33	45.28	8	41.33	45.28	7	41.33	45.28	6	41.33	45.28	5	41.33	45.28	4	41.33	45.28	3	41.33	45.28	2	41.33	45.28	1	41.33	45.28																																			
MATERIAL	TEMPERATURA ACTUAL (°C)	TEMPERATURA REDUCCION (°C)																																																																																																																														
14	35.5	29.2																																																																																																																														
13	30.0	25.0																																																																																																																														
12	29.7	24.8																																																																																																																														
11	29.2	24.3																																																																																																																														
10	28.5	23.6																																																																																																																														
9	28.3	23.4																																																																																																																														
8	28.2	23.3																																																																																																																														
7	28.1	23.2																																																																																																																														
6	28.0	23.1																																																																																																																														
5	27.9	23.0																																																																																																																														
4	27.8	22.9																																																																																																																														
3	27.7	22.8																																																																																																																														
2	27.6	22.7																																																																																																																														
1	27.5	22.6																																																																																																																														
MATERIAL	HUMEDAD ACTUAL (%)	HUMEDAD AUMENTO (%)																																																																																																																														
14	41.33	45.28																																																																																																																														
13	41.33	45.28																																																																																																																														
12	41.33	45.28																																																																																																																														
11	41.33	45.28																																																																																																																														
10	41.33	45.28																																																																																																																														
9	41.33	45.28																																																																																																																														
8	41.33	45.28																																																																																																																														
7	41.33	45.28																																																																																																																														
6	41.33	45.28																																																																																																																														
5	41.33	45.28																																																																																																																														
4	41.33	45.28																																																																																																																														
3	41.33	45.28																																																																																																																														
2	41.33	45.28																																																																																																																														
1	41.33	45.28																																																																																																																														
<p>GRAFICO DE EFECTIVIDAD TEMPERATURA ANÁLISIS DE TEMPERATURA SOBRE CUBIERTAS EDIFICACIONES</p>		<p>ANÁLISIS DE TEMPERATURA SOBRE AREAS URBANAS DE USO PEATONAL</p>																																																																																																																														
<p>CONDICIONES EXISTENTE SOBRE MATERIALES</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>MATERIAL</th> <th>INERCIA TERMICA</th> <th>%ALBEDO</th> <th>AUMENTO TEMPERATURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO</td><td>2000</td><td>35</td><td>4</td></tr> <tr><td>ASfalto COMUN</td><td>1400</td><td>10</td><td>4.5</td></tr> <tr><td>CONCRETO C. GRIS</td><td>2000</td><td>25</td><td>3</td></tr> <tr><td>ZONAS VERDES</td><td>2000</td><td>25</td><td>3</td></tr> <tr><td>ADQUIN CONCRETO C. GRIS</td><td>2000</td><td>25</td><td>3</td></tr> <tr><td>CONCRETO PULIDO</td><td>2000</td><td>50</td><td>3.75</td></tr> <tr><td>CONCRETO</td><td>2000</td><td>40</td><td>4.00</td></tr> <tr><td>ETERMIT</td><td>1200</td><td>40</td><td>3.00</td></tr> <tr><td>POLICARBONATO</td><td>2500</td><td>30</td><td>2.00</td></tr> <tr><td>TEJA DE BARRO</td><td>1200</td><td>30</td><td>3.00</td></tr> <tr><td>TEJA CERAMICA</td><td>1400</td><td>30</td><td>3.00</td></tr> <tr><td>ZINCO TERMOACUSTICA</td><td>450</td><td>50</td><td>3.00</td></tr> <tr><td>CONCRETO</td><td>2000</td><td>30</td><td>4.00</td></tr> <tr><td>GRAVILLA</td><td>800</td><td>25</td><td>3.00</td></tr> </tbody> </table>		MATERIAL	INERCIA TERMICA	%ALBEDO	AUMENTO TEMPERATURA	CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO	2000	35	4	ASfalto COMUN	1400	10	4.5	CONCRETO C. GRIS	2000	25	3	ZONAS VERDES	2000	25	3	ADQUIN CONCRETO C. GRIS	2000	25	3	CONCRETO PULIDO	2000	50	3.75	CONCRETO	2000	40	4.00	ETERMIT	1200	40	3.00	POLICARBONATO	2500	30	2.00	TEJA DE BARRO	1200	30	3.00	TEJA CERAMICA	1400	30	3.00	ZINCO TERMOACUSTICA	450	50	3.00	CONCRETO	2000	30	4.00	GRAVILLA	800	25	3.00	<p>PROPUESTA DE CAMBIO DE MATERIALES SOBREAREA ESPECIFICA DE ESTUDIO</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>MATERIAL PROPUESTO</th> <th>INERCIA TERMICA</th> <th>% ALBEDO</th> <th>REDUCCION TEMPERATURA</th> <th>EFICIENCIA COMPARACION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO C</td><td>22000</td><td>45</td><td>2.50</td><td>0.63</td></tr> <tr><td>ASfalto PERMEABLE</td><td>1200</td><td>25</td><td>1.50</td><td>0.33</td></tr> <tr><td>ADQUINES COLORES CLAROS</td><td>2000</td><td>35</td><td>1.50</td><td>0.37</td></tr> <tr><td>ADQUIN COLOR BLANCOS</td><td>2000</td><td>45</td><td>2.00</td><td>0.67</td></tr> <tr><td>CONCRETO PERMEABLE</td><td>1800</td><td>35</td><td>2.00</td><td>0.53</td></tr> <tr><td>CONCRETO CON COLORES CLAROS</td><td>2200</td><td>45</td><td>2.00</td><td>0.50</td></tr> <tr><td>TECHOS VERDES</td><td>800</td><td>25</td><td>3.00</td><td>1.00</td></tr> <tr><td>TECHO FRIO (COOL ROOFS)</td><td>1000</td><td>60</td><td>3.50</td><td>1.75</td></tr> <tr><td>TEJA CON ADITIVO SOBRE SUPERF</td><td>1400</td><td>45</td><td>3.00</td><td>1.00</td></tr> <tr><td>TECHOS VERDES</td><td>800</td><td>25</td><td>3.50</td><td>1.17</td></tr> <tr><td>CONCRETOS PERMEABLES</td><td>1800</td><td>35</td><td>2.00</td><td>0.50</td></tr> <tr><td>ZONA VERDE</td><td>400</td><td>20</td><td>3.50</td><td>1.17</td></tr> </tbody> </table>		MATERIAL PROPUESTO	INERCIA TERMICA	% ALBEDO	REDUCCION TEMPERATURA	EFICIENCIA COMPARACION	CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO C	22000	45	2.50	0.63	ASfalto PERMEABLE	1200	25	1.50	0.33	ADQUINES COLORES CLAROS	2000	35	1.50	0.37	ADQUIN COLOR BLANCOS	2000	45	2.00	0.67	CONCRETO PERMEABLE	1800	35	2.00	0.53	CONCRETO CON COLORES CLAROS	2200	45	2.00	0.50	TECHOS VERDES	800	25	3.00	1.00	TECHO FRIO (COOL ROOFS)	1000	60	3.50	1.75	TEJA CON ADITIVO SOBRE SUPERF	1400	45	3.00	1.00	TECHOS VERDES	800	25	3.50	1.17	CONCRETOS PERMEABLES	1800	35	2.00	0.50	ZONA VERDE	400	20	3.50	1.17
MATERIAL	INERCIA TERMICA	%ALBEDO	AUMENTO TEMPERATURA																																																																																																																													
CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO	2000	35	4																																																																																																																													
ASfalto COMUN	1400	10	4.5																																																																																																																													
CONCRETO C. GRIS	2000	25	3																																																																																																																													
ZONAS VERDES	2000	25	3																																																																																																																													
ADQUIN CONCRETO C. GRIS	2000	25	3																																																																																																																													
CONCRETO PULIDO	2000	50	3.75																																																																																																																													
CONCRETO	2000	40	4.00																																																																																																																													
ETERMIT	1200	40	3.00																																																																																																																													
POLICARBONATO	2500	30	2.00																																																																																																																													
TEJA DE BARRO	1200	30	3.00																																																																																																																													
TEJA CERAMICA	1400	30	3.00																																																																																																																													
ZINCO TERMOACUSTICA	450	50	3.00																																																																																																																													
CONCRETO	2000	30	4.00																																																																																																																													
GRAVILLA	800	25	3.00																																																																																																																													
MATERIAL PROPUESTO	INERCIA TERMICA	% ALBEDO	REDUCCION TEMPERATURA	EFICIENCIA COMPARACION																																																																																																																												
CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO C	22000	45	2.50	0.63																																																																																																																												
ASfalto PERMEABLE	1200	25	1.50	0.33																																																																																																																												
ADQUINES COLORES CLAROS	2000	35	1.50	0.37																																																																																																																												
ADQUIN COLOR BLANCOS	2000	45	2.00	0.67																																																																																																																												
CONCRETO PERMEABLE	1800	35	2.00	0.53																																																																																																																												
CONCRETO CON COLORES CLAROS	2200	45	2.00	0.50																																																																																																																												
TECHOS VERDES	800	25	3.00	1.00																																																																																																																												
TECHO FRIO (COOL ROOFS)	1000	60	3.50	1.75																																																																																																																												
TEJA CON ADITIVO SOBRE SUPERF	1400	45	3.00	1.00																																																																																																																												
TECHOS VERDES	800	25	3.50	1.17																																																																																																																												
CONCRETOS PERMEABLES	1800	35	2.00	0.50																																																																																																																												
ZONA VERDE	400	20	3.50	1.17																																																																																																																												
<p>CONDICIONES EXISTENTE SOBRE COMPONENTES ARBOREOS YA REAS VERDES</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>COBERTURA VEGETAL</th> <th>UNIDADES O M2</th> <th>TEMPERATURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>UNIDADES</td><td>6</td><td></td></tr> <tr><td>AREA COBERTURA VEGETAL</td><td>322</td><td></td></tr> <tr><td>AREA PROY SOMBRA TOTAL</td><td>680.84</td><td></td></tr> <tr><td>CONCE TRADA MEDIA</td><td>37.68</td><td></td></tr> <tr><td>DIFUSA</td><td>622.62</td><td></td></tr> <tr><td>AREA ZONA VERDE</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		COBERTURA VEGETAL	UNIDADES O M2	TEMPERATURA	UNIDADES	6		AREA COBERTURA VEGETAL	322		AREA PROY SOMBRA TOTAL	680.84		CONCE TRADA MEDIA	37.68		DIFUSA	622.62		AREA ZONA VERDE			<p>CONDICIONES DE MEJORA BASADO EN EL USO DE LA PROYECCION DE SOMBRA ACUMULADA A TRAVES DE ARBOLES E INCREMENTO DE ZONAS VERDES</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>COBERTURA VEGETAL</th> <th>UNIDADES O M2</th> <th>REDUCCION DE TEMPERATURA</th> <th>EFICIENCIA AREA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>UNIDADES ANADIDA</td><td>1.67</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>AREA COBERTURA VEGETAL ANADIDA</td><td>1216</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>AREA PROY SOMBRA TOTAL ANADIDA</td><td>69650.11</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>COGNET TRADA MEDIA</td><td>45.3</td><td>4 °C</td><td>0.3%</td></tr> <tr><td>DIFUSA</td><td>68992.55</td><td>2 °C</td><td>36.9%</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1 °C</td><td>100%</td></tr> <tr><td>AREA ZONA VERDE ANADIDA</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1.5</td><td></td></tr> </tbody> </table>		COBERTURA VEGETAL	UNIDADES O M2	REDUCCION DE TEMPERATURA	EFICIENCIA AREA	UNIDADES ANADIDA	1.67			AREA COBERTURA VEGETAL ANADIDA	1216			AREA PROY SOMBRA TOTAL ANADIDA	69650.11			COGNET TRADA MEDIA	45.3	4 °C	0.3%	DIFUSA	68992.55	2 °C	36.9%			1 °C	100%	AREA ZONA VERDE ANADIDA						1.5																																																																					
COBERTURA VEGETAL	UNIDADES O M2	TEMPERATURA																																																																																																																														
UNIDADES	6																																																																																																																															
AREA COBERTURA VEGETAL	322																																																																																																																															
AREA PROY SOMBRA TOTAL	680.84																																																																																																																															
CONCE TRADA MEDIA	37.68																																																																																																																															
DIFUSA	622.62																																																																																																																															
AREA ZONA VERDE																																																																																																																																
COBERTURA VEGETAL	UNIDADES O M2	REDUCCION DE TEMPERATURA	EFICIENCIA AREA																																																																																																																													
UNIDADES ANADIDA	1.67																																																																																																																															
AREA COBERTURA VEGETAL ANADIDA	1216																																																																																																																															
AREA PROY SOMBRA TOTAL ANADIDA	69650.11																																																																																																																															
COGNET TRADA MEDIA	45.3	4 °C	0.3%																																																																																																																													
DIFUSA	68992.55	2 °C	36.9%																																																																																																																													
		1 °C	100%																																																																																																																													
AREA ZONA VERDE ANADIDA																																																																																																																																
		1.5																																																																																																																														


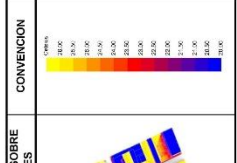

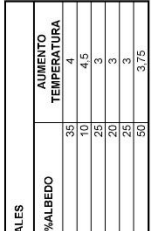
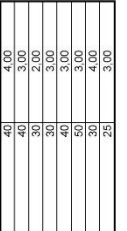
Fuente: Autoría propia.

Anexo I. Intervención sector 3, muestra cuantificada de intervenciones pasivas

	UNIVERSIDAD CESMAG FACULTAD DE ARQUITECTURA Y BELLAS ARTES	INVESTIGACIÓN: ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN PASIVA PARA REDUCIR EL IMPACTO DEL CALOR EN LA CONEXIÓN VIAL NORTE-SUR DE LAS CALLES 18 Y 19 EN PASTO, NARIÑO	FORMATO N° 3 DESCRIPCIÓN DE ÁREAS ZONAS DE INTERVENCIÓN N° 0003
	UNIVERSIDAD CESMAG FACULTAD DE ARQUITECTURA Y BELLAS ARTES	INVESTIGACIÓN: ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN PASIVA PARA REDUCIR EL IMPACTO DEL CALOR EN LA CONEXIÓN VIAL NORTE-SUR DE LAS CALLES 18 Y 19 EN PASTO, NARIÑO	FORMATO N° 3 DESCRIPCIÓN DE ÁREAS ZONAS DE INTERVENCIÓN N° 0003
En esta sección, se presentan los resultados de la intervención mediante estrategias pasivas para mitigar las islas de calor urbano en el Sector 4. Se detalla el uso de cada componente, incluyendo su cantidad total y el área cubierta, así como la reducción de temperatura y su eficacia en comparación con otras intervenciones. Se destaca el uso de materiales con una inercia térmica baja y efecto albedo alto para lograr estos objetivos.	TEMPERATURA PROMEDIO RECOLECTADA HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO RECOLECTADA	TEMPERATURA PROMEDIO ALCANZADA HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO ALCANZADA	DESCRIPCIÓN CONDICIONES DE SELECCIÓN: ZONA PEIMP-VULNERABILIDAD BAJA SECTORES CONTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE CAMPO 17-18-19-20
GRÁFICO DE EFECTIVIDAD TEMPERATURA TEMPERATURA ACTUAL Y REDUCCION	GRÁFICO DE EFECTIVIDAD % HUMEDAD RELATIVA HUMEDAD ACTUAL Y AUMENTO	ANÁLISIS DE TEMPERATURA SOBRE CUBIERTAS EDIFICACIONES	ANÁLISIS DE TEMPERATURA SOBRE CUBIERTAS EDIFICACIONES
CONDICIONES EXISTENTE SOBRE MATERIALES	CONDICIONES EXISTENTE SOBRE COMPONENTES ARBOREOS YA REAS VERDES	PROPIUESTA DE CAMBIO DE MATERIALES SOBREAREA ESPECIFICA DE ESTUDIO	CONVENCIÓN
USO PEATONAL	CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO SENCILLO ADQUILIN CONCRETO C. GRIS ZONA VERDE ADQUILIN CONCRETO C. GRIS CONCRETO PULIDO	MATERIAL PROPUESTO CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO C SENCILLO ADQUILIN COLORES CLAROS ZONA VERDE ADQUILIN COLOR BLANCOS CONCRETO PERMEABLE	EFICIENCIA COMPARACION 0,53 0,53 0,50 1,17 0,67 0,53
USOS EDIFICACIONES	CONCRETO ETHERNIT POLICARBONATO PULCARNATO TELA TERMOCUPLISTICA ZINC CONCRETO GRAVILLA	INERCIA TERMICA 2000 1200 250 1000 1000 450 2000 800	REDUCCION TEMPERATURA 2,50 2,50 1,50 3,50 2,00 2,00
ESPECIFICACIONES DE ZONAS VERDES Y COBERTURA VEGETAL EXISTENTE	COBERTURA VEGETAL UNIDADES AREA COBERTURA VEGETAL AREA PROY SOMBRA TOTAL COCNETRADA MEDIA DIFUSA AREA ZONA VERDE	COBERTURA VEGETAL UNIDADES VEGETAL ANADIDA AREA COBERTURA VEGETAL ANADIDA AREA PROY SOMBRA TOTAL ANADIDA COCNETRADA MEDIA DIFUSA AREA ZONA VERDE ANADIDA	EFICIENCIA AREA 1,75 1,17 0,50 1,17


Fuente: Autoría propia.

Anexo J. Intervención sector 4, muestra cuantificada de intervenciones pasivas

	UNIVERSIDAD CESMAG FACULTAD DE ARQUITECTURA Y BELLAS ARTES	FORMATO N° 3 DESCRIPCIÓN DE AREAS ZONAS DE INTERVENCIÓN N° 0004																																																															
En esta sección, se presentan los resultados de la intervención mediante estrategias pasivas para mitigar las islas de calor urbano en el Sector 1. Se detalla el uso de cada componente, incluyendo su descripción y el uso de materiales con una inercia térmica baja y efecto albedo alto para lograr estos objetivos.	TEMPERATURA PROMEDIO RECOLECTADA HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO RECOLECTADA	DESCRIPCIÓN CONDICIONES DE SELECCIÓN: ZONA TEMP-VULNERABILIDAD ALTA SECTORES CONTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE CAMPO 25-26-27-28-29																																																															
TEMPERATURA ACTUAL Y REDUCCION 	GRAFICO DE EFECTIVIDAD % HUMEDAD RELATIVA HUMEDAD ACTUAL Y AUMENTO 	ANALISIS DE TEMPERATURA SOBRE AREAS URBANAS DE USO PEATONAL ANALISIS DE TEMPERATURA SOBRE CUBIERTAS EDIFICACIONES CONVENCIÓN																																																															
CONDICIONES EXISTENTE SOBRE MATERIALES <table border="1"> <thead> <tr> <th>MATERIAL</th> <th>INERCIA TERMICA</th> <th>%ALBEDO</th> <th>AUMENTO TEMPERATURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO</td><td>2000</td><td>35</td><td>4.0</td></tr> <tr><td>ASFALTO COMUN</td><td>1400</td><td>10</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>ADOQUIN CONCRETO C. GRIS</td><td>2000</td><td>25</td><td>4.5</td></tr> <tr><td>ZONA VERDE</td><td>400</td><td>20</td><td>3</td></tr> <tr><td>ADOQUIN CONCRETO C. GRIS</td><td>2000</td><td>25</td><td>3</td></tr> <tr><td>CONCRETO PULIDO</td><td>2000</td><td>50</td><td>3.75</td></tr> </tbody> </table>	MATERIAL	INERCIA TERMICA	%ALBEDO	AUMENTO TEMPERATURA	CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO	2000	35	4.0	ASFALTO COMUN	1400	10	3.0	ADOQUIN CONCRETO C. GRIS	2000	25	4.5	ZONA VERDE	400	20	3	ADOQUIN CONCRETO C. GRIS	2000	25	3	CONCRETO PULIDO	2000	50	3.75	PROPIUESTA DE CAMBIO DE MATERIALES SOBREAREA ESPECIFICA DE ESTUDIO <table border="1"> <thead> <tr> <th>MATERIAL PROPUUESTO</th> <th>INERCIA TERMICA</th> <th>% ALBEDO</th> <th>REDUCCION TEMPERATURA</th> <th>EFICIENCIA COMPARACION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO C</td><td>2000</td><td>45</td><td>2.50</td><td>0.33</td></tr> <tr><td>ASFALTO PERMEABLE</td><td>1200</td><td>25</td><td>1.50</td><td>0.50</td></tr> <tr><td>ADOQUINES COLORES CLAROS</td><td>2000</td><td>35</td><td>1.50</td><td>0.50</td></tr> <tr><td>ZONA VERDE</td><td>400</td><td>20</td><td>3.50</td><td>1.17</td></tr> <tr><td>ADOQUIN COLOR BLANCOS</td><td>2000</td><td>45</td><td>2.00</td><td>0.67</td></tr> <tr><td>CONCRETO PERMEABLE</td><td>1800</td><td>35</td><td>2.00</td><td>0.53</td></tr> </tbody> </table>	MATERIAL PROPUUESTO	INERCIA TERMICA	% ALBEDO	REDUCCION TEMPERATURA	EFICIENCIA COMPARACION	CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO C	2000	45	2.50	0.33	ASFALTO PERMEABLE	1200	25	1.50	0.50	ADOQUINES COLORES CLAROS	2000	35	1.50	0.50	ZONA VERDE	400	20	3.50	1.17	ADOQUIN COLOR BLANCOS	2000	45	2.00	0.67	CONCRETO PERMEABLE	1800	35	2.00	0.53	ANALISIS DE TEMPERATURA SOBRE AREAS URBANAS DE USO PEATONAL 
MATERIAL	INERCIA TERMICA	%ALBEDO	AUMENTO TEMPERATURA																																																														
CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO	2000	35	4.0																																																														
ASFALTO COMUN	1400	10	3.0																																																														
ADOQUIN CONCRETO C. GRIS	2000	25	4.5																																																														
ZONA VERDE	400	20	3																																																														
ADOQUIN CONCRETO C. GRIS	2000	25	3																																																														
CONCRETO PULIDO	2000	50	3.75																																																														
MATERIAL PROPUUESTO	INERCIA TERMICA	% ALBEDO	REDUCCION TEMPERATURA	EFICIENCIA COMPARACION																																																													
CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO C	2000	45	2.50	0.33																																																													
ASFALTO PERMEABLE	1200	25	1.50	0.50																																																													
ADOQUINES COLORES CLAROS	2000	35	1.50	0.50																																																													
ZONA VERDE	400	20	3.50	1.17																																																													
ADOQUIN COLOR BLANCOS	2000	45	2.00	0.67																																																													
CONCRETO PERMEABLE	1800	35	2.00	0.53																																																													
CONDICIONES EXISTENTE SOBRE COMPONENTES ARBOREOS YA REAS VERDES <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESPECIFICACION AREAS VERDES Y COBERTURA VEGETAL EXISTENTE</th> <th>UNIDADES</th> <th>TEMPERATURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>COBERTURA VEGETAL</td><td>36</td><td></td></tr> <tr><td>AREA COBERTURA VEGETAL</td><td>25.2</td><td></td></tr> <tr><td>AREA PROY SOMBRA TOTAL</td><td>982.08</td><td></td></tr> <tr><td>CONCE TRADA</td><td>43.56</td><td></td></tr> <tr><td>MEDIA</td><td>53.64</td><td></td></tr> <tr><td>DIFUSA</td><td>884.88</td><td></td></tr> <tr><td>AREA ZONA VERDE</td><td>315.42</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESPECIFICACION AREAS VERDES Y COBERTURA VEGETAL EXISTENTE	UNIDADES	TEMPERATURA	COBERTURA VEGETAL	36		AREA COBERTURA VEGETAL	25.2		AREA PROY SOMBRA TOTAL	982.08		CONCE TRADA	43.56		MEDIA	53.64		DIFUSA	884.88		AREA ZONA VERDE	315.42		CONDICIONES DE MEJORA BASADO EN EL USO DE LA PROYECCION DE SOMBRA ACUMULADA A TRAVES DE ARBOLES E INCREMENTO DE ZONAS VERDES <table border="1"> <thead> <tr> <th>COBERTURA VEGETAL</th> <th>UNIDADES O M2</th> <th>REDUCCION DE TEMPERATURA</th> <th>EFICIENCIA AREA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>UNIDADES ANADIDAS</td><td>43</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>AREA COBERTURA VEGETAL ANADIDA</td><td>424</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>AREA PROYECCION SOMBRA TOTAL ANADIDA</td><td>2180.9</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>CONCE TRADA</td><td>3.86</td><td>4 °C</td><td>0.0%</td></tr> <tr><td>MEDIA</td><td>168.56</td><td>2 °C</td><td>1.1%</td></tr> <tr><td>DIFUSA</td><td>2008.48</td><td>1 °C</td><td>100%</td></tr> <tr><td>AREA ZONA VERDE ANADIDA</td><td>946.26</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>AREA ZONA VERDE</td><td>1.5</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	COBERTURA VEGETAL	UNIDADES O M2	REDUCCION DE TEMPERATURA	EFICIENCIA AREA	UNIDADES ANADIDAS	43			AREA COBERTURA VEGETAL ANADIDA	424			AREA PROYECCION SOMBRA TOTAL ANADIDA	2180.9			CONCE TRADA	3.86	4 °C	0.0%	MEDIA	168.56	2 °C	1.1%	DIFUSA	2008.48	1 °C	100%	AREA ZONA VERDE ANADIDA	946.26			AREA ZONA VERDE	1.5			ANALISIS DE TEMPERATURA SOBRE CUBIERTAS EDIFICACIONES 			
ESPECIFICACION AREAS VERDES Y COBERTURA VEGETAL EXISTENTE	UNIDADES	TEMPERATURA																																																															
COBERTURA VEGETAL	36																																																																
AREA COBERTURA VEGETAL	25.2																																																																
AREA PROY SOMBRA TOTAL	982.08																																																																
CONCE TRADA	43.56																																																																
MEDIA	53.64																																																																
DIFUSA	884.88																																																																
AREA ZONA VERDE	315.42																																																																
COBERTURA VEGETAL	UNIDADES O M2	REDUCCION DE TEMPERATURA	EFICIENCIA AREA																																																														
UNIDADES ANADIDAS	43																																																																
AREA COBERTURA VEGETAL ANADIDA	424																																																																
AREA PROYECCION SOMBRA TOTAL ANADIDA	2180.9																																																																
CONCE TRADA	3.86	4 °C	0.0%																																																														
MEDIA	168.56	2 °C	1.1%																																																														
DIFUSA	2008.48	1 °C	100%																																																														
AREA ZONA VERDE ANADIDA	946.26																																																																
AREA ZONA VERDE	1.5																																																																






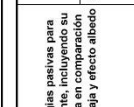

Fuente: Autoría propia.

Anexo K. Intervención sector 5, muestra cuantificada de intervenciones pasivas

	UNIVERSIDAD CESMAG FACULTAD DE ARQUITECTURA Y BELLAS ARTES	INVESTIGACION: ESTRATEGIAS DE MITIGACION PASIVA PARA REDUCIR EL COMFORT TÉRMICO EN UN SECTOR URBANO EN LA CONEXION VIAL NORTE-SUR DE LAS CALLES 18 Y 19 EN PASTO, NARIÑO.	FORMIATO N° 3 DESCRIPCION DE AREAS ZONAS DE INTERVENCIÓN N° 0005
En esta sección, se presentan los resultados de la intervención mediante estrategias pasivas para mitigar las islas de calor urbano en el Sector 1. Se detalla el uso de cada componente, incluyendo su cantidad total y el área cubierta, así como la reducción de temperatura y su eficacia en comparación con otras intervenciones. Se destaca el uso de materiales con una inercia térmica baja y efecto albedo alto para lograr estos objetivos.	TEMPERATURA PROMEDIO RECOLECTADA: 24,95 HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO RECOLECTADA: 39,46	TEMPERATURA PROMEDIO ALCANZADA: 21,12 HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO ALCANZADA: 46,62	DESCRIPCION CONDICIONES DE SELECCIÓN: NO PEM-VULNERABILIDAD ALTA SECTORES CONTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE CAMPO 32-33-34-35-36-37-38
GRAFICO DE EFECTIVIDAD	GRAFICO DE EFECTIVIDAD % HUMEDAD RELATIVA	GRAFICO DE EFECTIVIDAD TEMPERATURA	ANALISIS DE TEMPERATURA SOBRE CUBIERTAS EDIFICACIONES
TEMPERATURA ACTUAL Y REDUCCION	HUMEDAD ACTUAL Y AUMENTO	HUMEDAD ACTUAL Y AUMENTO	ANALISIS DE TEMPERATURA SOBRE AREAS URBANAS DE USO PEATONAL
CONCRETOS EXISTENTE SOBRE MATERIALES	CONCRETOS EXISTENTE SOBRE MATERIALES	CONCRETOS EXISTENTE SOBRE MATERIALES	PROPIUESTA DE CAMBIO DE MATERIALES SOBRE AREA ESPECIFICA DE ESTUDIO
USOS PEATONAL	USOS PEATONAL	USOS PEATONAL	USOS PEATONAL
USOS EDIFICACIONES	USOS EDIFICACIONES	USOS EDIFICACIONES	USOS EDIFICACIONES
CONDICIONES EXISTENTE SOBRE COMPONENTES ARBOREOS YA REAS VERDES	CONDICIONES EXISTENTE SOBRE COMPONENTES ARBOREOS YA REAS VERDES	CONDICIONES EXISTENTE SOBRE COMPONENTES ARBOREOS YA REAS VERDES	CONDICIONES EXISTENTE SOBRE COMPONENTES ARBOREOS YA REAS VERDES

Fuente: Autoría propia.

Anexo L. Intervención sector 6, muestra cuantificada de intervenciones pasivas


	UNIVERSIDAD CESMAG FACULTAD DE ARQUITECTURA Y BELLAS ARTES	FORMATO N° 3 DESCRIPCIÓN DE ÁREAS ZONAS DE INTERVENCIÓN N° 0006																																																																																																			
En esta sección, se presentan los resultados de la intervención mediante estrategias pasivas para mitigar las islas de calor urbano en el Sector 1. Se detalla el uso de cada componente, incluyendo su cantidad total y el área cubierta, así como la reducción de temperatura y su eficacia en comparación con otras intervenciones. Se detallan la inercia térmica baja y efecto albedo alto para lograr estos objetivos.	TEMPERATURA PROMEDIO RECOLECTADA: 21,31 HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO RECOLECTADA: 45,1	DESCRIPCIÓN CONDICIONES DE SELECCIÓN: NO PEMP-VULNERABILIDAD BAJA SECTORES CONTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE CAMPO 41-42-43-44-44-45																																																																																																			
GRÁFICO DE EFECTIVIDAD TEMPERATURA ACTUAL Y REDUCCIÓN 	GRÁFICO DE EFECTIVIDAD Y AUMENTO HUMEDAD ACTUAL Y AUMENTO 	ANALISIS DE TEMPERATURA SOBRE ÁREAS URBANAS DE USO PEATONAL 																																																																																																			
ANALISIS DE TEMPERATURA SOBRE CUBIERTAS EDIFICACIONES 	ANALISIS DE TEMPERATURA SOBRE ÁREAS URBANAS DE USO PEATONAL 	ANALISIS DE TEMPERATURA SOBRE CUBIERTAS EDIFICACIONES 																																																																																																			
CONDICIONES EXISTENTE SOBRE MATERIALES <table border="1" data-bbox="321 1365 402 1806"> <thead> <tr> <th>MATERIAL</th> <th>INERCIA TÉRMICA</th> <th>%ALBEDO</th> <th>AUMENTO TEMPERATURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO</td><td>2000</td><td>35</td><td>4</td></tr> <tr><td>ASFALTO COMUN</td><td>1400</td><td>10</td><td>4,5</td></tr> <tr><td>ADQUJIN CONCRETO C. GRIS</td><td>2000</td><td>25</td><td>3</td></tr> <tr><td>ZONA VERDE</td><td>400</td><td>20</td><td>3</td></tr> <tr><td>CONCRETO C. GRIS</td><td>2000</td><td>23</td><td>3</td></tr> <tr><td>CONCRETO PULIDO</td><td>2000</td><td>50</td><td>3,75</td></tr> </tbody> </table>	MATERIAL	INERCIA TÉRMICA	%ALBEDO	AUMENTO TEMPERATURA	CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO	2000	35	4	ASFALTO COMUN	1400	10	4,5	ADQUJIN CONCRETO C. GRIS	2000	25	3	ZONA VERDE	400	20	3	CONCRETO C. GRIS	2000	23	3	CONCRETO PULIDO	2000	50	3,75	PROPIUESTA DE CAMBIO DE MATERIALES SOBREAREA ESPECIFICA DE ESTUDIO <table border="1" data-bbox="402 1365 535 1806"> <thead> <tr> <th>MATERIAL PROPUESTO</th> <th>INERCIA TÉRMICA</th> <th>% ALBEDO</th> <th>REDUCCION TEMPERATURA</th> <th>EFICIENCIA COMPARACION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO C</td><td>22000</td><td>45</td><td>2,50</td><td>0,63</td></tr> <tr><td>ASFALTO PERMEABLE</td><td>1200</td><td>25</td><td>1,50</td><td>0,33</td></tr> <tr><td>ADQUJINES COLORES CLAROS</td><td>2000</td><td>35</td><td>1,50</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>ZONA VERDE</td><td>400</td><td>20</td><td>3,50</td><td>0,17</td></tr> <tr><td>OR BLANCOS</td><td>400</td><td>20</td><td>2,00</td><td>0,17</td></tr> <tr><td>CONCRETO PERMEABLE</td><td>1800</td><td>35</td><td>2,00</td><td>0,53</td></tr> </tbody> </table>	MATERIAL PROPUESTO	INERCIA TÉRMICA	% ALBEDO	REDUCCION TEMPERATURA	EFICIENCIA COMPARACION	CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO C	22000	45	2,50	0,63	ASFALTO PERMEABLE	1200	25	1,50	0,33	ADQUJINES COLORES CLAROS	2000	35	1,50	0,50	ZONA VERDE	400	20	3,50	0,17	OR BLANCOS	400	20	2,00	0,17	CONCRETO PERMEABLE	1800	35	2,00	0,53	CONDICIONES DE MEJORA BASADO EN EL USO DE LA PROYECCION DE SOMBRA ACUMULADA A TRAVES DE ARBOLES E INCREMENTO DE ZONAS VERDES <table border="1" data-bbox="535 1365 787 1806"> <thead> <tr> <th>MATERIAL</th> <th>INERCIA TÉRMICA</th> <th>%ALBEDO</th> <th>AUMENTO TEMPERATURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>CONCRETO</td><td>2000</td><td>40</td><td>4,00</td></tr> <tr><td>ETERNIT</td><td>1200</td><td>40</td><td>3,00</td></tr> <tr><td>POLICARBONATO</td><td>250</td><td>30</td><td>2,00</td></tr> <tr><td>TEJA DE BARRO</td><td>1200</td><td>30</td><td>3,00</td></tr> <tr><td>TEJA TERMOAUSTICA</td><td>1000</td><td>40</td><td>3,00</td></tr> <tr><td>ZINC</td><td>450</td><td>50</td><td>3,00</td></tr> <tr><td>CONCRETO</td><td>2000</td><td>30</td><td>4,00</td></tr> <tr><td>GRAVELLA</td><td>600</td><td>25</td><td>3,00</td></tr> </tbody> </table>	MATERIAL	INERCIA TÉRMICA	%ALBEDO	AUMENTO TEMPERATURA	CONCRETO	2000	40	4,00	ETERNIT	1200	40	3,00	POLICARBONATO	250	30	2,00	TEJA DE BARRO	1200	30	3,00	TEJA TERMOAUSTICA	1000	40	3,00	ZINC	450	50	3,00	CONCRETO	2000	30	4,00	GRAVELLA	600	25	3,00
MATERIAL	INERCIA TÉRMICA	%ALBEDO	AUMENTO TEMPERATURA																																																																																																		
CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO	2000	35	4																																																																																																		
ASFALTO COMUN	1400	10	4,5																																																																																																		
ADQUJIN CONCRETO C. GRIS	2000	25	3																																																																																																		
ZONA VERDE	400	20	3																																																																																																		
CONCRETO C. GRIS	2000	23	3																																																																																																		
CONCRETO PULIDO	2000	50	3,75																																																																																																		
MATERIAL PROPUESTO	INERCIA TÉRMICA	% ALBEDO	REDUCCION TEMPERATURA	EFICIENCIA COMPARACION																																																																																																	
CONCRETO RIGIDO PIGMENTADO C	22000	45	2,50	0,63																																																																																																	
ASFALTO PERMEABLE	1200	25	1,50	0,33																																																																																																	
ADQUJINES COLORES CLAROS	2000	35	1,50	0,50																																																																																																	
ZONA VERDE	400	20	3,50	0,17																																																																																																	
OR BLANCOS	400	20	2,00	0,17																																																																																																	
CONCRETO PERMEABLE	1800	35	2,00	0,53																																																																																																	
MATERIAL	INERCIA TÉRMICA	%ALBEDO	AUMENTO TEMPERATURA																																																																																																		
CONCRETO	2000	40	4,00																																																																																																		
ETERNIT	1200	40	3,00																																																																																																		
POLICARBONATO	250	30	2,00																																																																																																		
TEJA DE BARRO	1200	30	3,00																																																																																																		
TEJA TERMOAUSTICA	1000	40	3,00																																																																																																		
ZINC	450	50	3,00																																																																																																		
CONCRETO	2000	30	4,00																																																																																																		
GRAVELLA	600	25	3,00																																																																																																		
ESPECIFICACIONES DE COBERTURA VEGETAL EXISTENTE	CONDICIONES EXISTENTE SOBRE COMPONENTES ARBOREOS YA REAS VERDES <table border="1" data-bbox="402 1806 535 2058"> <thead> <tr> <th>COBERTURA VEGETAL</th> <th>UNIDADES O M2</th> <th>TEMPERATURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>UNIDADES</td><td>61</td><td></td></tr> <tr><td>AREA COBERTURA VEGETAL</td><td>505,59</td><td></td></tr> <tr><td>AREA PROV SOMBRA TOTAL</td><td>7023,54</td><td></td></tr> <tr><td>CONCENTRADA</td><td>309,88</td><td></td></tr> <tr><td>MEJORA</td><td>363,08</td><td></td></tr> <tr><td>DIFUSA</td><td>6328,97</td><td></td></tr> <tr><td>AREA ZONA VERDE</td><td>8254,33</td><td></td></tr> </tbody> </table>	COBERTURA VEGETAL	UNIDADES O M2	TEMPERATURA	UNIDADES	61		AREA COBERTURA VEGETAL	505,59		AREA PROV SOMBRA TOTAL	7023,54		CONCENTRADA	309,88		MEJORA	363,08		DIFUSA	6328,97		AREA ZONA VERDE	8254,33		CONDICIONES DE MEJORA BASADO EN EL USO DE LA PROYECCION DE SOMBRA ACUMULADA A TRAVES DE ARBOLES E INCREMENTO DE ZONAS VERDES <table border="1" data-bbox="535 1806 787 2058"> <thead> <tr> <th>COBERTURA VEGETAL</th> <th>UNIDADES O M2</th> <th>REDUCCION DE TEMPERATURA</th> <th>EFICIENCIA AREA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>UNIDADES ANADIDAS</td><td>53</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>AREA COBERTURA VEGETAL ANADIDA</td><td>1424</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>AREA PROYECCION SOMBRA TOTAL ANADIDA</td><td>20182,38</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>CONCENTRADA</td><td>557,46</td><td>4 °C</td><td>3,7%</td></tr> <tr><td>MEJORA</td><td>2242,14</td><td>2 °C</td><td>14,8%</td></tr> <tr><td>DIFUSA</td><td>17362,78</td><td>1 °C</td><td>10,2%</td></tr> <tr><td>AREA ZONA VERDE ANADIDA</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1,5</td><td></td></tr> </tbody> </table>	COBERTURA VEGETAL	UNIDADES O M2	REDUCCION DE TEMPERATURA	EFICIENCIA AREA	UNIDADES ANADIDAS	53			AREA COBERTURA VEGETAL ANADIDA	1424			AREA PROYECCION SOMBRA TOTAL ANADIDA	20182,38			CONCENTRADA	557,46	4 °C	3,7%	MEJORA	2242,14	2 °C	14,8%	DIFUSA	17362,78	1 °C	10,2%	AREA ZONA VERDE ANADIDA						1,5																																								
COBERTURA VEGETAL	UNIDADES O M2	TEMPERATURA																																																																																																			
UNIDADES	61																																																																																																				
AREA COBERTURA VEGETAL	505,59																																																																																																				
AREA PROV SOMBRA TOTAL	7023,54																																																																																																				
CONCENTRADA	309,88																																																																																																				
MEJORA	363,08																																																																																																				
DIFUSA	6328,97																																																																																																				
AREA ZONA VERDE	8254,33																																																																																																				
COBERTURA VEGETAL	UNIDADES O M2	REDUCCION DE TEMPERATURA	EFICIENCIA AREA																																																																																																		
UNIDADES ANADIDAS	53																																																																																																				
AREA COBERTURA VEGETAL ANADIDA	1424																																																																																																				
AREA PROYECCION SOMBRA TOTAL ANADIDA	20182,38																																																																																																				
CONCENTRADA	557,46	4 °C	3,7%																																																																																																		
MEJORA	2242,14	2 °C	14,8%																																																																																																		
DIFUSA	17362,78	1 °C	10,2%																																																																																																		
AREA ZONA VERDE ANADIDA																																																																																																					
		1,5																																																																																																			

Fuente: Autoría propia.

## Anexo M. Dashboard para analizar variaciones en estrategias de mitigación según el tipo de vulnerabilidad



Fuente: Autoría propia.

 <b>UNIVERSIDAD CESMAG</b> <small>NIT. 800.109.387-7 VIAJES AERONÁUTICOS</small>	<b>CARTA DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO O TRABAJO DE APLICACIÓN – ASESOR(A)</b>	<b>CÓDIGO: AAC-BL-FR-032</b>
		<b>VERSIÓN: 1</b>
		<b>FECHA: 18/FEB/2025</b>

San Juan de Pasto, 18 de febrero 2025

Biblioteca  
**REMIGIO FIORE FORTEZZA OFM. CAP.**  
Universidad CESMAG  
Pasto


Saludo de paz y bien.

Por medio de la presente se hace entrega del Trabajo de Grado denominado: Estrategias de mitigación pasiva para reducir el impacto de las islas de calor urbanas: estudio de caso en la conexión vial norte-sur de las calles 18 y 19 en Pasto, Nariño, presentado por el autor Eduard Fernando León Getial del Programa Académico de arquitectura al correo electrónico biblioteca.trabajosdegrado@unicesmag.edu.co. Manifiesto como asesor(a), que su contenido, resumen, anexos y formato PDF cumple con las especificaciones de calidad, guía de presentación de Trabajos de Grado o de Aplicación, establecidos por la Universidad CESMAG, por lo tanto, se solicita el paz y salvo respectivo.

Atentamente,

(Firma de Asesor)  


-----  
**ANA MARIA GONZALES BASTIDAS**  
1085323263  
Facultad de Arquitectura  
3046315109  
amgonzales@unicesmag.edu.co

 <b>UNIVERSIDAD CESMAG</b> <small>NIT 800 109 387-7</small>	<b>AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>CÓDIGO:</b> AAC-BL-FR-031
		<b>VERSIÓN:</b> 1
		<b>FECHA:</b> 18/02/2025

INFORMACIÓN DEL (LOS) AUTOR(ES)	
<b>Nombres y apellidos del autor:</b> Eduard Fernando Leon Getial	<b>Documento de identidad:</b> 1004770768
<b>Correo electrónico:</b> leoneduar8@gmail.com	<b>Número de contacto:</b> 3215082214
<b>Nombres y apellidos del autor:</b>	<b>Documento de identidad:</b>
<b>Correo electrónico:</b>	<b>Número de contacto:</b>
<b>Nombres y apellidos del asesor:</b> Ana María Gonzáles Bastidas	<b>Documento de identidad:</b> 1085323263
<b>Correo electrónico:</b> amgonzales@unicesmag.edu.co	<b>Número de contacto:</b> 3046315109
<b>Título del trabajo de grado:</b> Estrategias de mitigación pasiva para reducir el impacto de las islas de calor urbanas: estudio de caso en la conexión vial norte-sur de las calles 18 y 19 en Pasto, Nariño	
<b>Facultad y Programa Académico:</b> Arquitectura y bellas artes	

En mi (nuestra) calidad de autor(es) y/o titular (es) del derecho de autor del Trabajo de Grado o de Aplicación señalado en el encabezado, confiero (conferimos) a la Universidad CESMAG una licencia no exclusiva, limitada y gratuita, para la inclusión del trabajo de grado en el repositorio institucional. Por consiguiente, el alcance de la licencia que se otorga a través del presente documento, abarca las siguientes características:

- a) La autorización se otorga desde la fecha de suscripción del presente documento y durante todo el término en el que el (los) firmante(s) del presente documento conserve (mos) la titularidad de los derechos patrimoniales de autor. En el evento en el que deje (mos) de tener la titularidad de los derechos patrimoniales sobre el Trabajo de Grado o de Aplicación, me (nos) comprometo (comprometemos) a informar de manera inmediata sobre dicha situación a la Universidad CESMAG. Por consiguiente, hasta que no exista comunicación escrita de mi(nuestra) parte informando sobre dicha situación, la Universidad CESMAG se encontrará debidamente habilitada para continuar con la publicación del Trabajo de Grado o de Aplicación dentro del repositorio institucional. Conozco(conocemos) que esta autorización podrá revocarse en cualquier momento, siempre y cuando se eleve la solicitud por escrito para dicho fin ante la Universidad CESMAG. En estos eventos, la Universidad CESMAG cuenta con el plazo de un mes después de recibida la petición, para desmarcar la visualización del Trabajo de Grado o de Aplicación del repositorio institucional.
- b) Se autoriza a la Universidad CESMAG para publicar el Trabajo de Grado o de Aplicación en formato digital y teniendo en cuenta que uno de los medios de publicación del repositorio institucional es el internet, acepto(amos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación circulará con un alcance mundial.
- c) Acepto (aceptamos) que la autorización que se otorga a través del presente documento se realiza a título gratuito, por lo tanto, renuncio(amos) a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y/o cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente autorización y de la licencia o programa a través del cual sea publicado el Trabajo de grado o de Aplicación.





- d) Manifiesto (manifestamos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación es original realizado sin violar o usurpar derechos de autor de terceros y que ostento(amos) los derechos patrimoniales de autor sobre la misma. Por consiguiente, asumo(asumimos) toda la responsabilidad sobre su contenido ante la Universidad CESMAG y frente a terceros, manteniéndose indemne de cualquier reclamación que surja en virtud de la misma. En todo caso, la Universidad CESMAG se compromete a indicar siempre la autoría del escrito incluyendo nombre de(los) autor(es) y la fecha de publicación.
- e) Autorizo(autorizamos) a la Universidad CESMAG para incluir el Trabajo de Grado o de Aplicación en los índices y buscadores que se estimen necesarios para promover su difusión. Así mismo autorizo (autorizamos) a la Universidad CESMAG para que pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

**NOTA:** En los eventos en los que el trabajo de grado o de aplicación haya sido trabajado con el apoyo o patrocinio de una agencia, organización o cualquier otra entidad diferente a la Universidad CESMAG. Como autor(es) garantizo(amos) que he(hemos) cumplido con los derechos y obligaciones asumidos con dicha entidad y como consecuencia de ello dejo(dejamos) constancia que la autorización que se concede a través del presente escrito no interfiere ni transgrede derechos de terceros.

Como consecuencia de lo anterior, autorizo(autorizamos) la publicación, difusión, consulta y uso del Trabajo de Grado o de Aplicación por parte de la Universidad CESMAG y sus usuarios así:

- Permiso(permitimos) que mi(nuestro) Trabajo de Grado o de Aplicación haga parte del catálogo de colección del repositorio digital de la Universidad CESMAG por lo tanto, su contenido será de acceso abierto donde podrá ser consultado, descargado y compartido con otras personas, siempre que se reconozca su autoría o reconocimiento con fines no comerciales.

En señal de conformidad, se suscribe este documento en San Juan de Pasto a los 18 días del mes de febrero del año 2025

	
Nombre del autor: Eduard Fernando Leon Getial	Nombre del autor:
Nombre del autor:	Nombre del autor:
 Nombre del asesor: Ana María Gonzáles Bastidas	