



Impacto del calor en el deterioro en fachadas del patrimonio industrial de la Sierra Peruana Impact of heat on the deterioration of facades of the industrial heritage of the Peruvian Sierra

05

CÉSAR LAJO CUNO

Universidad Tecnológica del Perú, Perú
u18204709@utp.edu.pe

RODRIGO QUISPE ZAPATA

Universidad Tecnológica del Perú, Perú
u18204709@utp.edu.pe

PATRICIA C. DELGADO MENESES

Universidad Tecnológica del Perú, Perú
c16692@utp.edu.pe

VALKIRIA IBÁRCENA IBÁRCENA

Universidad Tecnológica del Perú, Perú
valkiria.ibarcena@gmail.com.pe

RESUMEN El calor urbano y la contaminación ambiental contribuyen al deterioro del patrimonio arquitectónico. Debido a ello, esta investigación tiene por objetivo analizar el impacto de variables climáticas y variables sociales urbanas y ambientales, en los materiales de las fachadas patrimoniales, en tres fases: identificación del índice de daños según materialidad, análisis de flujo por observación y análisis de la variabilidad climática y sensación térmica con el uso de cámara termográfica e higrómetro. Los resultados evidencian que la madera y la ignimbrita son los materiales más afectados por el impacto de calor y el comportamiento de los peatones influye en su afluencia escogiendo vías alternas a fin de evitar molestias a causa de la sensación térmica. Este estudio tiene como propósito contribuir con el análisis material, para formular estrategias de conservación en fachadas patrimoniales de este tipo, frente a los desafíos ambientales de la actualidad, asegurando su durabilidad en el tiempo.

ABSTRACT Urban heat and environmental pollution contribute to the deterioration of architectural heritage. Therefore, this research aims to analyze the impact of climatic, social, and environmental urban variables on heritage façade materials in three phases: identification of damage indexes based on materiality, observational flow analysis, and analysis of climate variability and wind chill using a thermographic camera and hygrometer. The results show that wood and ignimbrite are the materials most affected by heat and pedestrian behavior influences pedestrian traffic, choosing alternative routes to avoid discomfort caused by wind chill. This study aims to contribute to material analysis and develop conservation strategies for these types of heritage façades, addressing current environmental challenges and ensuring their durability over time.

Recibido: 14/09/2024
Revisado: 31/03/2025
Aceptado: 16/04/2025
Publicado: 26/01/2026

PALABRAS CLAVE patrimonio arquitectónico, sensación térmica, impacto de calor, fachadas, variabilidad climática

KEYWORDS architectural heritage, thermal sensation, heat impact, facades, climate variability



Cómo citar este artículo/How to cite this article: Lajo Cuno, C., Quispe Zapata, R., Delgado Meneses, P. y Ibárcena Ibárcena, V. (2026). Impacto del calor en el deterioro en fachadas del patrimonio industrial de la Sierra Peruana. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 15(29), 66-80. <https://doi.org/10.18537/est.v015.n029.a05>

1. Introducción

El calor urbano caracterizado por el aumento de temperatura en entornos urbanos (Aguilar, 2021; Wonorahardjo et al., 2022) junto con otros factores como la contaminación ambiental, es causal del deterioro en arquitectura local (Resende et al., 2022), afectando el estado de conservación en edificios patrimoniales. Los factores climáticos como la temperatura, las precipitaciones, el viento y la radiación solar afectan directamente al revestimiento de las fachadas, causando dilatación, contracción, expansión y retracción en los materiales, lo que puede resultar en posibles daños estructurales (Falcão et al., 2023), repercutiendo en el mantenimiento y los costos asociados (Barrelas et al., 2024). Este impacto adverso del calor asociado mutuamente con las propiedades de absorción de calor del entorno construido y fuentes de calor antropogénicas afecta la salud pública (Tabatabaei y Fayaz, 2023).

Según Zeballos (2021), el mapa de temperatura superficial Terrestre de Arequipa del 2018 muestra que, temperaturas en la zona de Amortiguamiento del Centro Histórico, (lugar de nuestra área de estudio) varían entre los 26°C y 30°C a partir de las 9:00 horas, en comparación con otras zonas del cercado, donde registran niveles regulares que varían entre 21°C - 25°C. Esta variación es debido al tipo de color y material de las edificaciones, provocando la mayor absorción de radiación solar y contribuyendo así a las islas de calor urbano (ICU) (Candanedo y Villarreal, 2020).

Es debido a ello, que esta investigación tiene por objetivo evaluar la relación que existe entre las variables climáticas y el deterioro de las fachadas con respecto a las actividades, elementos naturales, desplazamiento peatonal y vehicular, las cuales pueden provocar un impacto significativo en la conservación de la arquitectura. Para ello, se establecieron tres fases de análisis: (1) Identificación del índice de daños según materialidad, (2) Análisis de flujo por observación y (3) Análisis de la Variabilidad Climática y sensación térmica por calor.

Para solucionar esta problemática, algunas investigaciones han optado por llevar a cabo metodologías experimentales (Ornam et al., 2023) combinando mediciones de campo y simulaciones, con el objetivo de analizar los efectos de diferentes tipos de fachadas en la reducción de las ICU. De la misma manera, Wonorahardjo et al. (2022) realizaron su investigación con mediciones en campo y en laboratorio, para analizar el impacto de la temperatura interior y exterior de las edificaciones. Por otro lado, Gunawardena et al., (2019) se basaron en simulaciones de clima urbano para comprender la influencia de las ICU en las cargas de acondicionamiento del espacio en entornos urbanos y suburbanos.

Teniendo claro el daño que provocan las ICU, se propusieron estrategias prácticas de mitigación, como el aumento de espacios verdes y cuerpos de agua en entornos urbanos, siendo este limitante debido a las características fisiológicas de cada lugar (Xiang et al., 2023).

Adicional a ello, el estudio realizado por Jang et al. (2024), se centró en mitigar las ICU mediante infraestructura verde para mejorar el confort térmico en entornos urbanos, en el cual se evaluó el impacto de la vegetación urbana y cuerpos de agua en la reducción de ICU relacionado con el Confort Térmico Exterior (CTE). De igual manera, otra estrategia enfocada en la reducción de la temperatura de la superficie y el consumo de energía en edificios fue de Zhuo et al. (2024), quienes usaron recubrimientos fríos pigmentados nacarados con alta reflectancia.

El software aplicado en estas investigaciones fue el ENVI-met con un modelo 3D de edificaciones para simular el clima urbano y la interacción entre la superficie terrestre (Ornam et al., 2023) con el objetivo de evaluar los efectos de enfriamiento y calentamiento en el área, así como la eficacia de los conceptos tecnológicos de fachadas. Otra simulación, se realizó con el software EnergyPlus para evaluar el consumo de energía en diferentes zonas climáticas (Zhuo et al., 2024).

Por otro lado, se ha utilizado plataformas satelitales como Landsat para analizar el uso de la tierra y su relación con las ICU a partir de estudios en condiciones meteorológicas en las cuales se utilizó el software Google Earth Engine/Imágenes, ArcGIS y MODIS (Rajagopal et al., 2023). Sin embargo, en el caso de Gunawardena et al. (2019) y Palme et al. (2019), ambos utilizaron el software *Urban Weather Generator* (UWG) V4.1.0, ya que se realizaron simulaciones utilizando un marco preparado con datos meteorológicos rurales.

Los resultados obtenidos en las investigaciones revelan que, durante el día, los materiales presentes en las edificaciones, como pavimentos duros y de colores oscuros, así como los materiales de acabado de las cubiertas de los edificios, como el asfalto, cemento y hormigón, ladrillo, entre otros, absorben calor y durante el periodo nocturno liberan este calor al ambiente generando un calor urbano superficial (Ravelo, 2011).

Además, investigaciones de Alarcón (2020) denotan la influencia del color y la densidad de la vegetación como mitigadores del calor en superficies de construcciones, en el cual los colores claros absorben menos radiación ante la exposición a la luz solar, así mismo, la presencia de vegetación en superficies puede reducir hasta en 10°C de su temperatura.

Por último, Jang et al. (2024) destaca la importancia de considerar espacios verdes y cuerpos de agua en la planificación urbana para mitigar los efectos de ICU. La presencia de estas características demostró reducir el malestar térmico exterior tanto de día como de noche, subrayando la necesidad de estrategias efectivas de planificación urbana.

2. Métodos

La metodología tiene un enfoque mixto de alcance no experimental, la cual contó con tres fases: La primera fase consistió en identificar el índice de daños según materialidad, basándose en la investigación de Sullón (2017) para ponderar a cada elemento constructivo, a partir de la delimitación del sector de estudio y levantamiento gráfico de las propiedades físicas de los componentes de las fachadas patrimoniales en un tramo de calle seleccionado por la constitución de sus elementos constructivos, materiales y colores.

La segunda fase comprendió el análisis de flujo por observación, siendo este el conteo de la composición vehicular y peatonal. Las tomas de datos se llevaron a cabo entre el 16 al 22 de mayo del 2024. Se consideró analizar bajo etapas de crecimiento, donde el modo de evaluación fue el de realizar un conteo del paso del peatón por tres puntos de análisis para la composición peatonal. Las tomas de datos se produjeron durante tres horas del día, en una semana, obteniendo un total de 63 mediciones; mientras que para la composición vehicular se tomó la medición desde 1 punto de análisis general, registrando un total de 21 mediciones.

Finalmente, en la tercera fase se analizó un análisis no invasivo de variabilidad climática con un termohigrómetro digital marca KTJ con sensor externo modelo TA 318 para uso ambiental con intervalo de temperatura para exteriores de -50 °C a 70 °C (resolución de 0,1 °C y exactitud de +/- 1,0 °C) e intervalo de Humedad Relativa desde 25 a 98%HR (resolución 1%HR y exactitud de +/- 5 %HR).

Asimismo, se realizó la inspección térmica de las fachadas con el uso de la cámara termográfica marca Guide Sensmart modelo P120V de bolsillo, con resolución IR de 120x90 @17µm, con rango de medición de 20°C-150°C (100°C-400°C para cambio automático) y exactitud de ±2°C o ±2% (lo que sea mayor), y se aplicó el software Revit para el análisis del asoleamiento en los siguientes horarios: 8:00-9:00, 12:00-13:00 y 17:00-18:00, para que después sea procesado mediante un mapa de temperaturas en fachadas.

La metodología empleada no pretende hacer un seguimiento histórico del deterioro inducido por el calor, sino comprobar con análisis no invasivos como el estudio de las imágenes IR, si el calor incide más en aquellas áreas con más deterioro y la

manera en la que puede afectar al comportamiento de las personas al transitar esta calle.

3. Resultados

El sector de estudio se encuentra en un tramo de calle del centro histórico de Arequipa, Perú; en el cual se encuentra la fachada del Ex Museo de Arte Contemporáneo (EM-1 y EM-2) y la Casona del Tranvía (CT-1) (Figura 1).

Estas casonas presentan una arquitectura ecléctica característica de finales del siglo XIX y principios del siglo XX; frente a estos hechos arquitectónicos se encuentra un parque el cual es un factor del entorno importante para evaluar, ya que permitiría determinar su influencia sobre la mitigación del impacto del calor.

3.1. Identificación del índice de daños según materialidad

Se procedió a codificar los elementos arquitectónicos relevantes para el estudio en función a su materialidad y color (Tabla 1). Lo que permitió resaltar la importancia del retiro de la arquitectura frente a la vía, así como el nivel de reflectancia obtenida a partir del color y su influencia sobre el comportamiento térmico.

Respecto al material de las fachadas, la Ignimbrita abarca el 43,2% en las fachadas de las casonas EM-1 y EM-2 como muros. El segundo material que cubre una gran área es el concreto, con un 22,69%, principalmente como elementos estructurales, tales como cimentación y columnas en las casonas. Esto seguido por el acero, que constituye un 19,1% y se encuentra en los detalles de las rejas de los cercos perimetrales de las casonas EM-1 y CT-1. Por último, la madera representa un 15,1% de toda la calle, ocupando este en su totalidad en la casona CT-1.

Además, el uso de tonos como el amarillo, pintado en los muros de las casonas EM-1 y CT-1 tiene una reflectancia del 60%, esto significa la luz solar que incide sobre estos muros es reflejada, reduciendo la cantidad de calor que se absorbe, lo que evita que el material se caliente excesivamente, contribuyendo a mantener una temperatura más fresca.

Por otro lado, el uso de tonos más oscuros como el rojo, azul, café y negro tiene el efecto opuesto, debido a que tienen una menor reflectancia del 15%, lo que significa que la mayor parte de la radiación solar es absorbida en lugar de ser reflejada, provocando que el calor se quede atrapado en el material, aumentando la temperatura interna del mismo, ocasionado que el calor acelere el deterioro del material, como fisuras, desprendimiento, decoloración y pérdida de integridad estructural.

En función a los daños patológicos, en la fachada EM-1 la ignimbrita presentó deterioros en los ele-

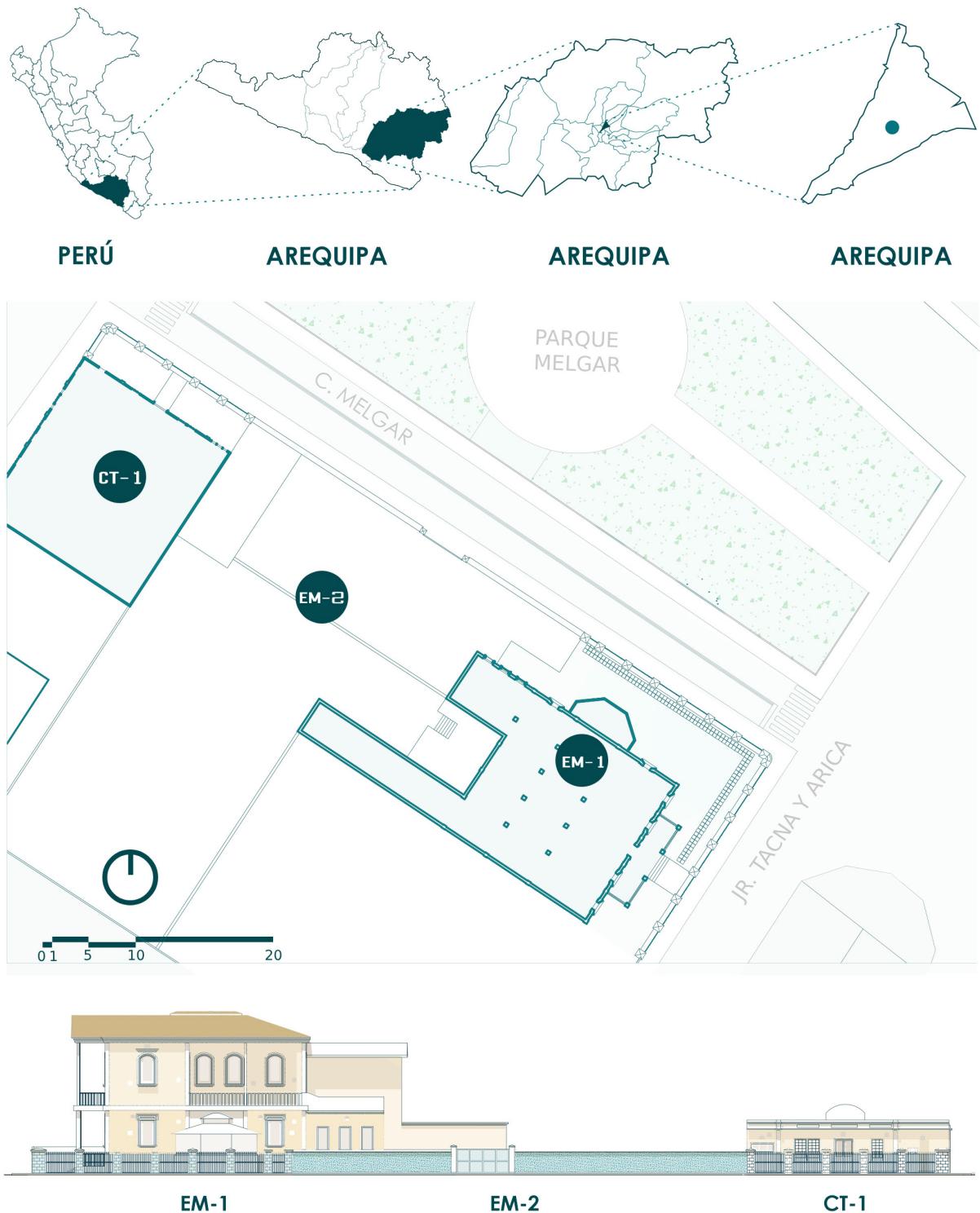


Figura 1: Levantamiento y sectorización de puntos de análisis. (2024)

Codificación de fachada	Retiro perimetral	Elementos arquitectónicos	Codificación de material	Color	Reflexión del color (%)	Material
EM-1	4,00 m.	Muros	M	Amarillo	60%	Concreto
		Zócalos	Z			Concreto
		Barandas	B			Madera
		Capitel	CAP			Ignimbrita
		Cornisa	CA	Blanco	75%	Concreto
		Pilares perimetrales	P			Ignimbrita
		Puertas	PA	Gris	20%	Madera
		Acera	PV			Pavimento
		Techo a 2 aguas	T			Calamina
		Columnas	C	Negro	0 -3%	Concreto
		Rejas perimetrales	R	Verde oscuro	10%	Acero
EM-2	-	Columnas	C	Azul	10%	Ignimbrita
		Muros	M			Ignimbrita
		Capitel	CAP	Blanco	75%	Ignimbrita
		Acera	PV			Pavimento
		Zócalos	Z	Gris	20%	Concreto
		Puertas	PA			Madera
CT-1	4,00 m.	Capitel	CAP	Blanco	75%	Ignimbrita
		Pilares perimetrales	P			Ignimbrita
		Muros	M	Crema	60%	Madera
		Acera	PV			Pavimento
		Columnas	C	Marrón	10%	Acero
		Cornisa	CA			Madera
		Puertas	PA			Madera
		Zócalos	Z	Verde oscuro	10%	Madera
		Rejas perimetrales	R			Acero

Tabla 1: Características físicas de las fachadas. Autores (2024) con base de Mendoza y Aguilón (2021)

mentos de los pilares perimetrales, en los cuales se observó suciedad y desprendimiento, sin embargo, en los puntos P2 y P8 se detectaron los daños más graves (Tabla 2).

El concreto presentó las mismas patologías, pero en este caso, el elemento más afectado fue la acera PV1, la cual obtuvo un daño muy grave al estar expuesta horizontalmente a diferencia de los elementos verticales (Figura 2). Por otro lado, en el acero se evidencian las cuatro patologías, en las cuales el elemento de la reja R1 y R7 fue el más afectado, así como los techos a dos aguas T1, T2 y T3.

En el punto EM-2, se observó que la ignimbrita presentó suciedad y desprendimiento, con daños graves en los muros MS1 y MS2. En el concreto se presentaron estas patologías, pero solo con daños leves. A diferencia de la madera, la cual presenta a la vez suciedad, deformación y desprendimiento en la puerta PA1, siendo este el elemento más afectado de este punto (Tabla 2).

En el caso del punto CT-1, en cuanto a la ignimbrita, se presentaron daños como suciedad y desprendimiento, siendo los pilares perimetrales P1, P2 y P5 los más afectados. El concreto presenta las mismas patologías, siendo la acera PV1 la más afectada como la anterior fachada. A diferencia de la madera, en la que se observa una patología adicional a las anteriores, que es la deformación, en la cual se vio que los elementos más afectados fueron la puerta PA1, los muros M1, M2 y M3, y las columnas C1 y C2. Finalmente, en el caso del acero, se presentaron las cuatro patologías, siendo la reja R1 la más afectada.

En la Figura 3 se observa la ubicación de estas patologías en cada uno de los puntos EM-1, EM-2 y CT-1, los cuales se encuentran en las zonas bajas cercanas a la vía vehicular y la contaminación es más directa, asimismo, en la parte alta solo se observan patologías de suciedad y oxidación, debido al entorno. Esto permite la identificación y priorización de las áreas que requieren reparación urgente.

Casona	Material	Elemento	Codificación	Suciedad	Oxidación/ Corrosión	Deformaciones	Desprendimiento	Total de daño
EM-1	ignimbrita	pilares perimetrales	P1	2	-	-	1	3
			P2	2	-	-	2	4
			P3	2	-	-	1	3
			P4	1	-	-	1	2
			P5	1	-	-	1	2
			P6	1	-	-	1	2
			P7	1	-	-	1	2
			P8	3	-	-	2	5
		muros	M1	1	-	-	-	1
			M2	1	-	-	-	1
	concreto	columnas	M3	1	-	-	-	1
			M4	1	-	-	-	1
			M5	1	-	-	-	1
			C1	1	-	-	1	2
			C2	1	-	-	1	2
			C3	1	-	-	1	2
			C4	1	-	-	1	2
		zocalos	C5	1	-	-	1	2
			C6	1	-	-	1	2
			C7	2	-	-	1	3
	cornisa	Z1	1	-	-	-	-	1
		Z2	1	-	-	-	-	1
		Z3	1	-	-	-	1	2
		CA1	1	-	-	-	-	1
	acera	CA2	1	-	-	-	-	1
		CA3	1	-	-	-	-	1
		CA4	2	-	-	-	-	2
		PV1	2	-	2	2		6
EM-2	acero	ventanas	V1	1	1	-	-	2
			V2	1	1	-	-	2
			V3	1	1	-	-	2
			V4	1	1	-	-	2
			V5	1	1	-	-	2
			V6	1	1	-	-	2
			V7	1	1	-	-	2
			V8	1	1	-	-	2
			V9	1	1	-	-	2
			V10	1	1	-	-	2
	rejas	V11	1	1	-	-	-	2
		V12	1	1	-	-	-	2
		R1	1	2	1	-		4
		R2	1	1	1	-	-	3
		R3	1	1	1	-	-	3
	baranda	R4	1	1	1	-	-	3
		R5	1	1	1	-	-	3
		R6	1	1	1	-	-	3
		R7	1	2	2	-		5
	techo a 2 aguas	B1	1	1	-	-	-	2
		B2	1	1	-	-	-	2
		T1	1	3	-	1		5
		T2	1	3	-	1		5
		T3	1	3	-	1		5
CT-1	ignimbrita	muros	MS1	2	-	-	2	4
		puerta	MS2	2	-	2	1	4
			PA1	2	-	3	3	7
			P1	3	-	-	1	4
		pilares perimetral	P2	2	-	-	2	4
	concreto		P3	2	-	-	1	3
			P4	2	-	-	3	5
			P5	2	-	-	1	3
			P6	2	-	-	1	3
		zocalos	Z1	1	-	-	1	2
	madera	cornisa	Z2	1	-	-	-	1
			Z3	1	-	-	1	2
			CA1	1	-	-	1	2
			CA2	1	-	-	-	2
			CA3	1	-	-	-	1
	acero	acera	PV1	2	-	-	2	6
		puerta	PA1	1	-	2	1	4
		muros	PA2	1	-	1	1	3
			M1	2	-	2	1	5
		columnas	M2	2	-	2	1	5
	ventanas		M3	2	-	2	1	5
			C1	2	-	2	3	7
			C2	2	-	2	3	7
			C3	2	-	2	3	7
			V1	1	1	-	-	2
			V2	1	1	-	-	2
			V3	1	1	-	-	2
			V4	1	1	-	-	2
			R1	1	2	1	-	4
			R2	1	1	1	-	3
			R3	1	1	1	-	3
			R4	1	1	1	-	3
			R5	1	1	1	-	3
			R6	1	1	1	-	3
			R7	1	1	1	-	3

Tabla 2: Muestreo de daños en elementos constructivos.
Autores (2024) en base a Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa, (2022); Sullón, (2017)

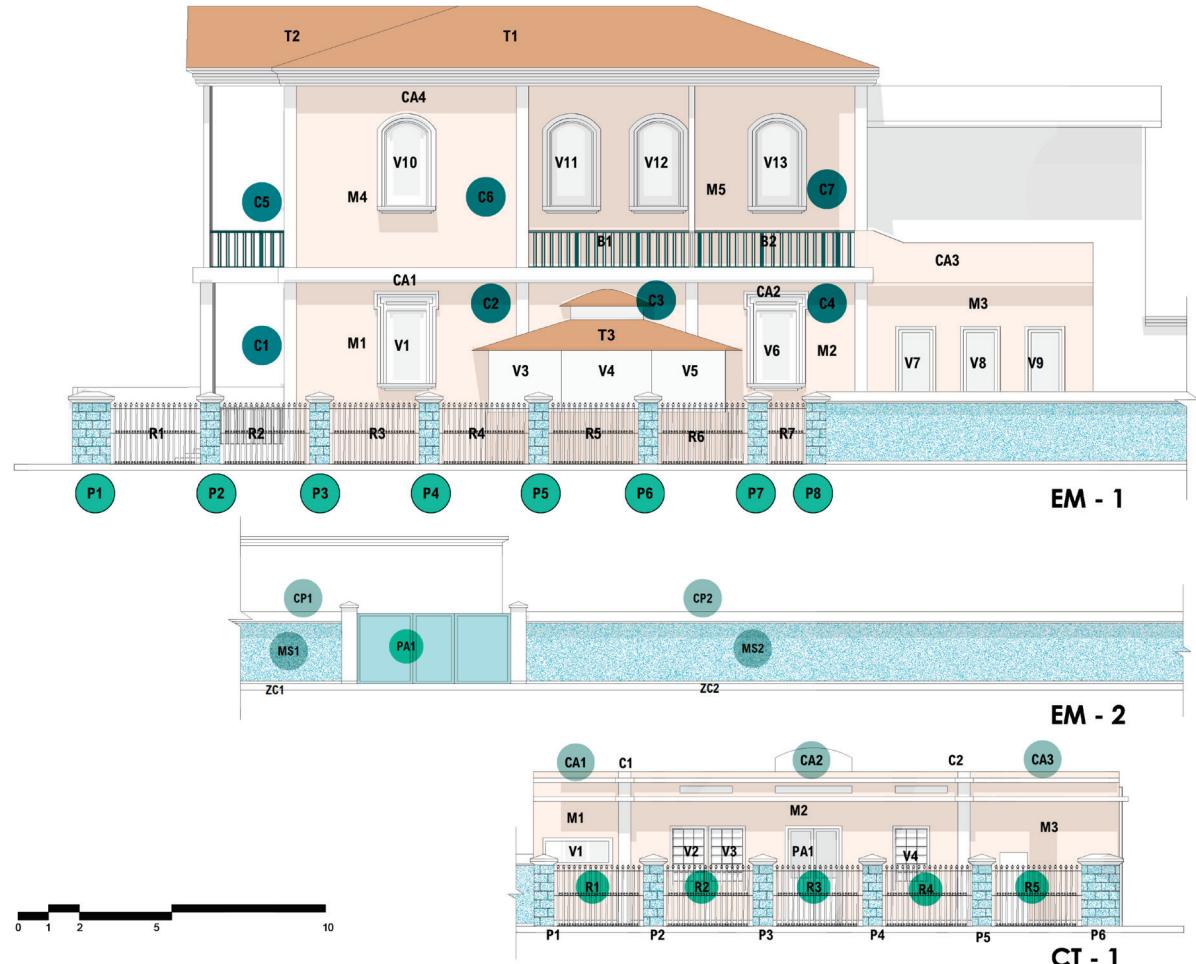


Figura 2: Codificación de elementos constructivos de las fachadas (2024)

Por lo tanto, el material más propenso a sufrir estas patologías por daños del calor es el acero, que va desde la corrosión, deformación, acumulación de suciedad hasta desprendimientos en algunos puntos. En segundo lugar, la madera es el material más afectado, seguidamente el concreto y la ignimbrita son materiales perjudicados, pero en menor medida, ya que, tienden a sufrir algunos daños como suciedad y desprendimientos especialmente debido a cambios bruscos de temperatura.

3.2. Análisis de flujo por observación

Las tomas de datos para la composición de flujo peatonal y vehicular se llevaron a cabo entre el 16 al 22 de mayo del 2024 de los cuales, el modo de evaluación para el flujo peatonal fue realizar un conteo del paso del peatón por los tres puntos de análisis (las tomas de datos se produjeron durante tres horas del día, en una semana).

Se observó que la mayoría de los peatones evitan pasar por el punto EM-2, tomando como otras opciones, la vía del frente; intensificándose en la mañana y tarde (Figura 4). También se puede determinar que, el recorrido de los usuarios tiene una tendencia a usar ambas veredas de la calle, optando las zonas arboladas como las más concurridas.

El flujo peatonal promedio indicó una escasa afluencia de transeúntes cercanos a la vía de las fachadas estudiadas en comparación con la vía alterna cercana al parque. Esto sugiere que podría deberse a la falta de áreas verdes e incremento de sensación térmica. Además, el estado deteriorado de estas edificaciones patrimoniales da una impresión de abandono que no favorece su atractivo para los transeúntes, resultando en que sean ignoradas.

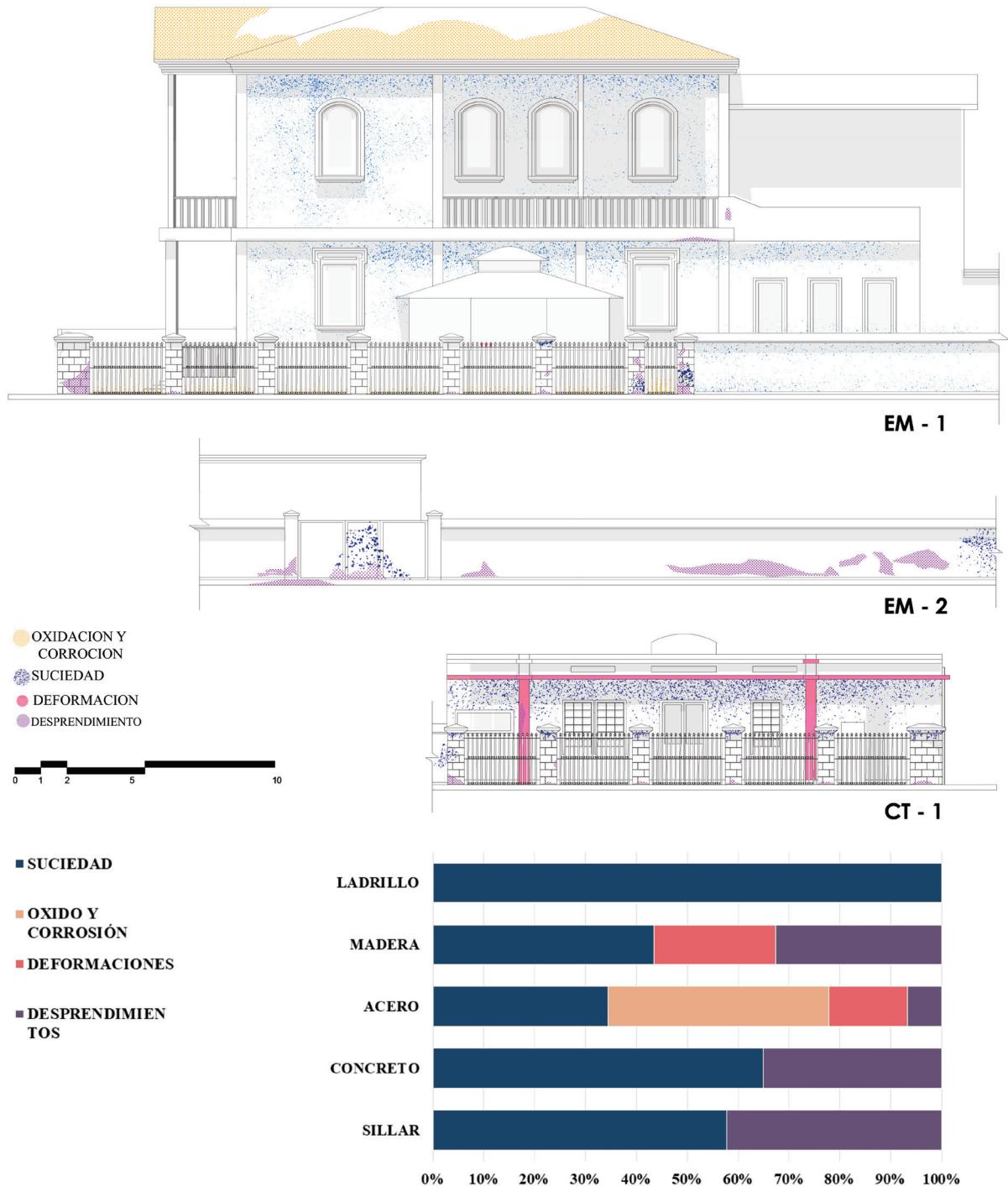


Figura 3: Índice de daños en las fachadas patrimoniales. (2024)



Figura 4: Diagrama de flujos peatonales durante el día (2024)

Temperatura (°C)	Humedad (%)					
	CT-1		EM-1		EM-2	
	24.5 °C	31.3 °C	28.5 °C	28.3 °C	29.4 °C	24.5 °C
CT-1	27%	23.7 °C				
	10%		28.9 °C			
EM-1	19%			271 °C		
	14%				26.9 °C	
EM-2	21%					27.8 °C
	10%					23.3 °C

Tabla 3: Sensación térmica. Autores (2024) en base a Índice de Calor (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica , s.f.)

A diferencia del conteo peatonal, la toma de datos del flujo vehicular se constituyó del conteo de vehículos que circulaban por la calle Melgar durante tres horas del día, en toda la semana; esto permitió determinar la alta afluencia vehicular, lo cual implica una mayor emisión de gases de carbono. Esta situación contribuye al aumento de la temperatura en la zona y afecta negativamente la imagen de las casonas, ensuciándolas y deteriorándolas.

Se determinó que diariamente transitaban un promedio de 447 vehículos por hora en la calle analizada. Por último, en el análisis de datos para el conteo vehicular y peatonal destacaron el lunes, jueves y viernes, como los días en los que existe mayor flujo y, por tanto, son días con mayor influencia en el aumento de temperatura de la zona.

3.3. Análisis de la variabilidad climática y sensación térmica por calor

Para esta etapa, se recopilaron datos de temperatura y radiación solar durante el periodo de mayo a julio de 2024; para lo cual, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2024) se pronosticó una temperatura que varía entre los 19 °C hasta los 23°C y la humedad ambiente varía entre el 29%-35% a nivel general. A partir de ello, junto al mayor tráfico registrado en la semana, se consideró favorable hacer la toma de datos el lunes 20 de mayo; a fin de evaluar la variación del pronóstico con respecto a la presencia del usuario y de los tipos de transporte. Las tomas de muestras de temperatura y humedad ambiente se realizaron en cada punto de análisis, en dos horarios diferentes (08:00-09:00 y 12:00-13:00), donde se mostró lo siguiente:



Figura 5: Asoleamiento en tres horarios del día en otoño. (2024)

CT-1:

- 08:00-09:00: La temperatura es de 24,5 °C y la humedad es del 27%.
- 12:00-13:00: La temperatura aumenta a 31,3 °C y la humedad disminuye al 10%.

EM-1:

- 08:00-09:00: La temperatura es de 28,5 °C y la humedad es del 19%.
- 12:00-13:00: La temperatura baja ligeramente a 28,3 °C y la humedad disminuye al 14%.

EM-2:

- 08:00-09:00: La temperatura es de 29,4 °C y la humedad es del 21%.
- 12:00-13:00: La temperatura desciende a 24,5 °C y la humedad baja al 10%.

Los datos recopilados permiten determinar el índice de calor, y con ello evaluar la Sensación Térmica (ST) percibida en la zona de estudio. Para determinar la ST, se toma como referencia los parámetros que brinda la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) de Estados Unidos, los cuales también son utilizados por el SENAMHI para el cálculo general de los datos meteorológicos en la localidad de estudio.

La información está representada en esta tabla de doble entrada (Tabla 3), donde se interrelaciona la temperatura del ambiente en °C y la humedad relativa (%), para obtener la ST.

Cada ítem obtenido se relaciona con las cuatro categorías:

27 °C ≤ ST < 32 °C: Categoría I: Precaución
(Posible fatiga por exposición prolongada o actividad física)

32 °C ≤ ST < 40 °C: Categoría II: Precaución Extrema (Insolación, golpe de calor, calambres. Estos efectos son posibles con exposición prolongada o actividad física).

40 °C ≤ ST < 55 °C: Categoría III: Peligro
(Insolación, golpe de calor, calambres. Estos efectos son muy posibles con exposición prolongada o actividad física).

ST ≥ 55 °C: Categoría IV: Extremo Peligro
(Golpe de calor e insolaciones inminentes). Segundo lo detectado, en las mañanas las fachadas con mayor ST en el ambiente son EM-1 y EM-2 con valores de 27 °C, sin embargo, al medio día, la situación varía con la fachada CT-1, ya que, al aumentar su temperatura ambiente hasta 31,3 °C,



Figura 6: Mapa de temperaturas en fachadas. (2024)

la sensación térmica arroja un valor de 28, dando el primer nivel de precaución. Esto se relaciona con la transitabilidad de los peatones en la zona, quienes experimentan fatigas al transitar por CT-1 y EM-2, optando por desplazarse en la vía alterna cercana al parque.

Además, el estudio de sol evidenció que a las 9 horas el sol se encuentra en una posición ascendente, y las fachadas orientadas al este y sureste reciben la mayor cantidad de radiación solar directa. Sin embargo, a las 14 horas el sol alcanza su punto más alto en el cielo, y la radiación solar es máxima. Las fachadas expuestas directamente al sol reciben una intensa cantidad de radiación. De lo contrario, a las 17 horas el sol comienza a descender, y la radiación solar se reduce. Por lo tanto, las fachadas orientadas al oeste reciben la mayor cantidad de radiación solar en esta hora lo que contribuye al calentamiento de las fachadas occidentales, manteniendo elevadas las temperaturas de las superficies hasta el final de la tarde. La acumulación de calor durante el día puede retrasar el enfriamiento nocturno de los edificios, prolongando el efecto de isla de calor (Figura 5).

Finalmente, las imágenes termográficas fueron tomadas en 3 franjas horarias para cada ubicación de 8-9 am de 12-1 pm y de 5-6 pm, las cuales

son representadas en las elevaciones, por los tonos amarillo-naranja-rojo-morado ubicados en los rangos de mayor a menor temperatura respectivamente (Figura 6).

A partir de ello se evidencia que, en la mañana, el tramo de la fachada CT-1 tiene los niveles más altos de temperatura en sus materiales, siendo el acero de las columnas C1 y C2, y la madera, los que cuentan con una temperatura superior a los 70°C (Figura 7); ello junto con la ausencia de vegetación en la casona patrimonial, intensifican la sensación térmica al paso del peatón.

Para el tramo EM-1, el material con mayor nivel de calor es la ignimbrita, ocupando la totalidad de sus muros, seguido de la piedra encontrada en las columnas C1, C2, C3 y C4.

Por otro lado, en el tramo EM-2, la PA1 cuenta con el nivel más alto registrado en la mañana, siendo 81.7°, reafirmando los signos de daño en su estructura determinados anteriormente. El resto de los materiales mantiene una temperatura promedio que varía entre 30-50°C.

Para el horario de la tarde, si bien la temperatura máxima en ambas fachadas bajó 3°C, la temperatura en el concreto, acero, piedra y pavimento se elevó, superando los 70°C (Figura 7).

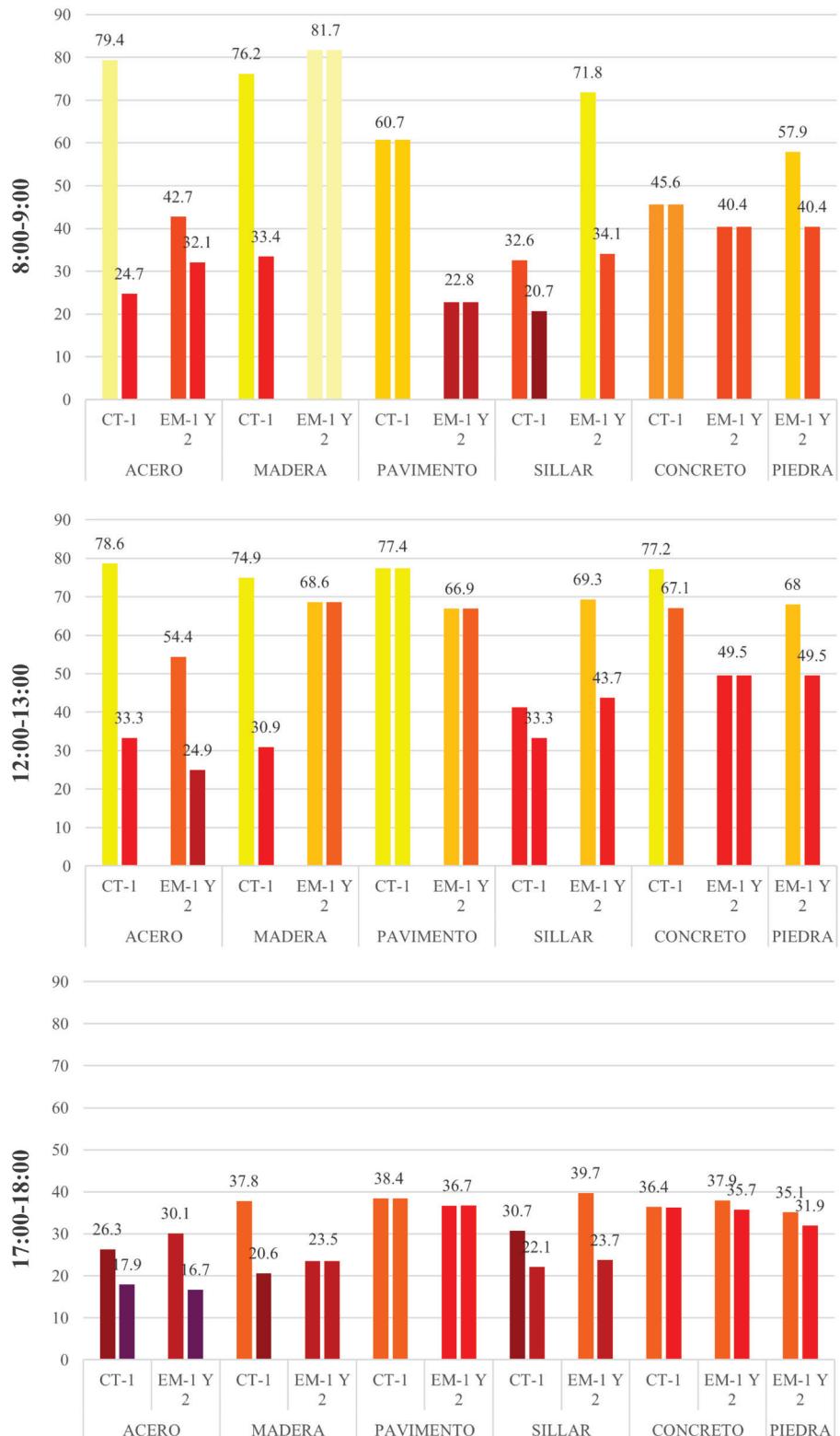


Figura 7: Comparación de temperatura máxima y mínima de materiales en tres horarios del día. (2024)

Con respecto al material de la ignimbrita de la fachada EM-2, subió en 30°C. Este aumento significativo se puede relacionar con el poco tránsito por esa zona.

Los niveles altos encontrados en el acero corresponden a las columnas de CT1, diferenciándose del acero de los cercos perimétricos que, con influencia del flujo del viento, disminuye su temperatura en la zona, siendo menos molesto transitar por esos frentes. Además, la temperatura promedio va entre los 40-70°C, intensificando la sensación térmica en las fachadas.

Por otro lado, en la noche se observa que las temperaturas disminuyen hasta llegar a 40°C. Además, se observó que, los materiales que almacenaron más calor son la ignimbrita y el pavimento en las fachadas EM-1 y EM-2 y que a su vez presentan mayores signos de desprendimiento.

La suciedad almacenada en los capiteles de los pilares, así como en parte de los muros y ornamento de ignimbrita, muestran un incremento en los niveles de temperatura detectados, provocando mayores daños a la infraestructura.

La puerta PA1, al presentar mayor desgaste en la zona inferior, se relaciona con la alta temperatura detectada a nivel horizontal, así como la cercanía con el pavimento, el cual también mantiene un nivel de calor constante.

Los elementos pintados con tonos oscuros perjudican la integridad de las casonas, ya que son los que hacen variar la temperatura sobre cualquier material, tales como las columnas y ornamentos de CT1 y EM1, así como en los pilares.

4. Discusión

Esta investigación reafirma la postura de Ornam (2023), quien en su estudio sobre las fachadas de paredes estereotómicas revela que estas absorben la energía térmica solar desde la mañana, acumulando temperatura y calentando los espacios a su alrededor, contribuyendo a aumentar la sensación térmica, y efecto de las ICU.

En relación con la influencia de la vegetación en la desaceleración de la degradación de los materiales, Alarcón (2020) resalta la reducción de los niveles de temperatura hasta en 10°C, esto refuerza la comparativa realizada entre las dos fachadas de las casonas estudiadas, las cuales varían en el nivel de degradación y sensación térmica por la influencia de elementos naturales como árboles.

Según Herrera-Sosa et al. (2020), si bien la ignimbrita posee una conductividad térmica de 0,16 W/m °C, esto sugiere que el calor se mantiene en el exterior, provocando que, en días con altos niveles de calor, la sensación térmica en los puntos con mayor presencia de este material es más altos; esto, junto con la conductividad térmica del pavimento al estar en mayor contacto, provocan las fatigas esperadas en el día.

Así mismo, según el estudio de Xi et al. (2023), la temperatura en aceras peatonales o con vías no motorizadas puede reducirse hasta en 1,05°C, en comparación a vías no arborizadas. Con el tiempo, esta variación en la temperatura tiene un impacto significativo en los materiales que componen las fachadas de las casonas, especialmente aquellos más cercanos a la calle, ya que esa parte de la acera no es arborizada, en comparación con la acera del frente.

Considerando que, así como en el análisis detectado en la ignimbrita y el acero, la temperatura puede incrementarse más ante la aparición de colores más oscuros, esto se corrobora por el estudio de Alarcón (2020), que destacó la absorción de calor en materiales de grava con tonos más oscuros.

Estudios como Ornam et al. (2023), realizaron sus investigaciones durante las épocas con mayor incidencia solar en el año, mientras que esta investigación fue realizada entre las estaciones de otoño e invierno, que corresponden a los meses con menor incidencia solar en la ciudad de estudio. Sin embargo, la tendencia de las altas temperaturas durante el día se mantuvo, reflejando la problemática de la zona y la urgencia de plantear futuras investigaciones que aborden estrategias para la mitigación del calor, en especial para las épocas con mayor golpe de calor, en las que se acelera la degradación de las fachadas patrimoniales.

5. Conclusiones

En conclusión, la casona más dañada por el impacto del calor fue la CT-1. Esto se debe a que el sistema constructivo utilizado, "Balloon Frame", es más susceptible a las patologías detectadas en toda la casona, cuyo material principal es la madera en el que se detectó desprendimientos y suciedad. Además, en el análisis térmico fue el material que alcanzó los niveles más altos de temperatura con 80°C durante el día y que al tener un color claro en todos los muros, la reflexión del calor no ayudó a mitigar el daño que esta fachada sufrió por el impacto del calor.

El estudio realizado demuestra el impacto significativo del calor en los materiales que componen las fachadas de las casonas patrimoniales. Se identificaron una variedad de problemas afectados por fenómenos antrópicos como la contaminación y de causas naturales producto de la radiación solar. A pesar de no tener un muestreo histórico de datos, los datos obtenidos en el día con mayores niveles de temperatura según el pronóstico previsto dan a suponer un efecto acumulativo que a largo plazo atenta contra los materiales más vulnerables de estas edificaciones.

Superponiendo los mapas de patologías detectadas y de calor, las deformaciones ubicadas en C1 y C2 de la casona CT-1 son las que presentan más niveles de calor; asimismo, las zonas con desprendimiento en PA1 de la casona EM-2 se presentan en su mayoría con niveles altos de temperatura, esto no necesariamente indica que estas patologías fueron provocadas estrictamente por el calor ya que el desprendimiento en otras zonas como los muros y pilares de ignimbrita pueden haber sido provocados por efectos de desgaste involuntario o acción humana. Sin embargo, estas patologías dan cabida a puentes térmicos en zonas vulnerables provocando variaciones de temperatura en el interior de estas casonas. Además, se observó que en los pilares de EM-1 hay mayores niveles de temperatura con respecto a los pilares de CT-1, esto toma relevancia cuando se superpone con el mapa de patologías, ya que los pilares de EM-1 presentan un mayor grado de suciedad, provocado mayormente por contaminación vehicular en la zona.

Los materiales más vulnerables al calor resultaron ser la madera y la ignimbrita, que mostraron un alto grado de deterioro con patologías como desprendimiento y suciedad, especialmente en los pilares perimetrales y estructuras de madera. El acero, afectado por oxidación y deformación, y el concreto, con daños menores en las aceras, también mostraron signos de deterioro, aunque menos severos. Los daños se concentraron en las zonas bajas de las fachadas, cerca de la vía vehicular, sugiriendo un fuerte impacto de la

contaminación vehicular. En las partes altas, las patologías predominantes fueron la suciedad y la oxidación.

Los datos recopilados muestran que el calor generado por el tráfico vehicular contribuye significativamente al deterioro de los materiales de las fachadas. Las áreas con mayor índice de daño térmico, especialmente los elementos de ignimbrita en las partes bajas requieren intervención urgente. Esto evidencia que el impacto del calor no solo compromete la integridad de los materiales, sino que también puede influir en el comportamiento de las personas al transitar por la calle.

Es esencial considerar un mantenimiento específico a los materiales con mayores índices de daños como la madera y la ignimbrita, de los cuales, el primero forma parte del sistema constructivo principal de la casona EM-1, ya que en la actualidad es la casona más abandonada de la calle. Así mismo, se debería realizar una evaluación exhaustiva a la configuración del movimiento vehicular de esta zona, considerando la integración de espacios más confortables para los usuarios que transitán la zona, ya que, en su mayoría, la población con más flujo en el lugar es de los jóvenes universitarios.

Las políticas locales para prevenir daños han mostrado grandes limitaciones, ya que no han logrado adaptarse a las particularidades del contexto histórico. Por lo que se hace necesario la implementación de herramientas de gestión específicas para la preservación del patrimonio arquitectónico.

Conflictos de intereses. Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

© **Derechos de autor:** César Lajo Cuno, Rodrigo Quispe Zapata, Patricia C. Delgado Meneses y Valkiria Ibárcena Ibárcena

© **Derechos de autor de la edición:** Estoa, 2026.

6. Referencias bibliográficas

- Administración Nacional Oceánica y Atmosférica. (s.f.). *Herramientas de seguridad térmica*. <https://www.weather.gov/safety/heat-tools>
- Aguilar, E. (2021). *Análisis de la distribución e intensidad de las Islas de Calor Urbanas superficiales diurnas (icus) en el Cantón Manta, Manabí y su relación con la vegetación local y otras variables geográficas*. <https://deposit.ub.edu/dspace/handle/2445/180526>
- Alarcón, A. (2020). *Mejora de la eficiencia energética de los edificios y reducción de la "isla de calor" en las ciudades del futuro*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/160366>
- Barrelas, J., Silva, A., de Brito, J. y Tadeu, A. (2024). Influence of temperature increase and precipitation decrease on the degradation evolution of rendered façades in service conditions. *Journal of Building Engineering*, 94. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109843>
- Candanedo, M. y Villarreal, D. (2020). *Efecto de las islas de calor urbano en las principales vías de la Ciudad de Panamá*. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ide-tecnologico/article/view/2829>
- Falcão Socoloski, R., Bersch, J. D., Guerra, M. & Borges Masuero, A. (2023). The influence of temperature and rain moisture in mortar facades obtained through hygrothermal simulation. *Construction and Building Materials*, 370. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130587>
- Gunawardena, K., Kershaw, T. & Steemers, K. (2019). Simulation pathway for estimating heat island influence on urban/suburban building space-conditioning loads and response to facade material changes. *Building and Environment*, 150, 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.006>
- Herrera-Sosa, L. C., Villena-Montalvo, E. E. y Rodriguez-Neira, K. R. (2020). Evaluación del desempeño térmico del sillar (ignimbrita) de Arequipa, Perú. *Revista de Arquitectura*, 22(1), 152–163. <https://doi.org/10.14718/revarq.2020.2261>
- Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa. (2022). *Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones* (1st ed., Vol. 3). https://www.academia.edu/125775965/VOLUMEN_3_TOMO_I_Diseno_arquitectonico
- Jang, S., Bae, J. & Kim, Y. J. (2024). Street-level urban heat island mitigation: Assessing the cooling effect of green infrastructure using urban IoT sensor big data. *Sustainable Cities and Society*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105007>
- Mendoza, M. y Aguillón, J. (2021). *Influencia del color en la percepción térmica del diseño arquitectónico*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477966601014>
- Ornam, K., Wonorahardjo, S. & Triyadi, S. (2023). Several facade types for mitigating urban heat island intensity. *Building and Environment*, 111031. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.111031>
- Palme, M., Clemente, C., Cellurale, M., Carrasco, C. & Salvati, A. (2019). Mitigation strategies of the urban heat island intensity in Mediterranean climates: Simulation studies in Rome (Italy) and Valparaiso (Chile). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 323(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012025>
- Rajagopal, P., Priya, R. S. & Senthil, R. (2023). A review of recent developments in the impact of environmental measures on urban heat island. In *Sustainable Cities and Society*, 88. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104279>
- Ravelo, G. (2011). *Influencia de los elementos climáticos en el deterioro de las fachadas de edificaciones del barrio Colón*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376839863003>
- Resende, M. M., Gambare, E. B., Silva, L. A., Cordeiro, Y. de S., Almeida, E. & Salvador, R. P. (2022). Infrared thermal imaging to inspect pathologies on façades of historical buildings: A case study on the Municipal Market of São Paulo, Brazil. *Case Studies in Construction Materials*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01122>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2024). *Pronóstico del clima - Arequipa*. <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=arequipa&p=pronostico-detalle>
- Sullón, M. (2017). *Determinación y evaluación de las patologías del cerco perimétrico de la Institución Educativa 14013, Señor de la Divina Misericordia, distrito 26 de octubre, provincia de Piura, departamento de Piura, febrero 2017*. <https://repositorio.uladec.edu.pe/handle/20.500.13032/2078>
- Tabatabaei, S. S. & Fayaz, R. (2023). The effect of facade materials and coatings on urban heat island mitigation and outdoor thermal comfort in hot semi-arid climate. *Building and Environment*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110701>
- Wonorahardjo, S., Sutjahja, I. M., Mardiyati, Y., Andoni, H., Achsani, R. A., Steven, S., Thomas, D., Tunçbilek, E., Arıcı, M., Rahmah, N. & Tedja, S. (2022). Effect of different building façade systems on thermal comfort and urban heat island phenomenon: An experimental analysis. *Building and Environment*, 217. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109063>
- Xi, C., Ren, C., Zhang, R., Wang, J., Feng, Z., Haghishat, F. & Cao, S. J. (2023). Nature-based solution for urban traffic heat mitigation facing carbon neutrality: sustainable design of roadside green belts. *Applied Energy*, 343. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121197>
- Xiang, Y., Cen, Q., Peng, C., Huang, C., Wu, C., Teng, M. & Zhou, Z. (2023). Surface urban heat island mitigation network construction utilizing source-sink theory and local climate zones. *Building and Environment*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110717>
- Zeballos, C. (2021). *Atlas Ambiental de Arequipa* (Vol. 1). Universidad Católica de Santa María. <https://isbn.bnpg.gob.pe/catalogo.php?mode=detalle&nt=150340>
- Zhuo, S., Zhou, W., Fang, P., Ye, J., Luo, H., Li, H., Wu, C., Chen, W. & Liu, Y. (2024). Cost-effective pearlescent pigments with high near-infrared reflectance and outstanding energy-saving ability for mitigating urban heat island effect. *Applied Energy*, 353. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122051>