

RESILIENCIA CLIMÁTICA Y CALIDAD DEL AIRE

Federico Napoli
Universidad Politécnica de Madrid

Estrategias de Infraestructura Verde para Lima

RESUMEN | El cambio climático plantea desafíos significativos para los entornos urbanos, especialmente en ciudades como Lima. Este estudio tiene como objetivo investigar cómo la infraestructura verde puede mejorar la resiliencia climática y la calidad del aire en Lima, centrándose en el centro histórico de la ciudad. A través de un análisis detallado se subraya la importancia de implementar estrategias de infraestructura verde para mitigar los efectos de la isla de calor urbano, mejorar la calidad del aire y aumentar la habitabilidad urbana en general. La investigación destaca la necesidad de intervenciones a múltiples escalas, enfatizando la importancia de esfuerzos coordinados tanto a nivel local como regional para abordar los desafíos complejos del cambio climático y la urbanización en Lima.

Palabras clave: resiliencia climática, infraestructura verde, ciudad saludable, calidad del aire.

ABSTRACT | Climate change poses significant challenges for urban environments, especially in cities like Lima. This study aims to investigate how green infrastructure can improve climate resilience and air quality in Lima, focusing on the historic center of the city. Through detailed analysis, it underscores the importance of implementing green infrastructure strategies to mitigate the effects of the urban heat island, improve air quality, and enhance overall urban livability. The research highlights the need for multi-scale interventions, emphasizing the importance of coordinated efforts at both local and regional levels to address the complex challenges of climate change and urbanization in Lima.

Keywords: Climate resilience, green infrastructure, healthy city, air quality.

Introducción

La ciudad de Lima, junto con la provincia del Callao, alberga más de nueve millones de habitantes (INEI, 2020) y enfrenta graves problemas de planificación urbana que han resultado en una urbe con estándares de calidad de vida muy bajos. Este estudio se enfoca en el centro histórico de Lima, un área que representa una de las seis islas de calor del área metropolitana (Napoli, 2023) y que carece significativamente de infraestructura verde y azul. Estas características la convierten en una zona crítica para estudiar la calidad del aire y la resiliencia climática.

En el contexto de la emergencia climática global es fundamental desarrollar estrategias que mejoren la habitabilidad urbana y reduzcan los impactos del cambio climático. La infraestructura verde, en las diferentes escalas de intervención, puede desempeñar un papel crucial en la mitigación de los efectos del calentamiento urbano y en la mejora de la calidad del aire. Este estudio tiene como objetivo proporcionar una comprensión más profunda de cómo estas estrategias pueden ser implementadas de manera efectiva en el contexto específico de Lima, una ciudad con una topografía compleja y una modificación del clima local por la extensión urbana; además, en la capital peruana la proporción de áreas verdes y arborizadas por habitante es apenas de 3 m² en la actualidad (Instituto Metropolitano de Planificación, 2022, p. 417) (Fig. 01). Se identifican, entonces, estrategias concretas y eficaces a corto, mediano y largo plazo.

Mediante un análisis ambiental que incluye el análisis del microclima urbano y el levantamiento fotográfico, se busca ofrecer soluciones prácticas y basadas en evidencia para mejorar la calidad de vida en el centro histórico de Lima. Se espera que los hallazgos de esta investigación puedan ser aplicados a otras áreas urbanas con problemas similares, contribuyendo así a la creación de ciudades más sostenibles y resilientes.



Fig. 01 Vista de Lima desde el Cerro San Cristóbal, Rímac. En la foto es posible evidenciar la carencia de grandes masas de áreas verdes. Foto propia (2024).

1. Metodología

La metodología aplicada en la investigación consta de tres fases.

1. Etapa previa: identificación de la zona de estudio.
2. Análisis del microclima urbano.
3. Levantamiento fotográfico.

Se destacó una atención particular en una zona específica, especialmente crítica, que rodea la Plaza de Armas, conocida por sus grandes flujos de personas y, por supuesto, su importancia histórico-cultural.

1.3. Levantamiento fotográfico

Durante el levantamiento fotográfico en el centro histórico de Lima, se observó una clara deficiencia en la experiencia peatonal. A pesar de los esfuerzos de la administración pública por aumentar las áreas peatonales, la falta de espacios de calidad para el descanso y la escasez de sombra en una ciudad desértica como Lima contribuyen a un bajo nivel de bienestar para los usuarios.

Las fotografías fueron tomadas durante los meses de enero y febrero, en horarios comprendidos entre las 11:00 y las 15:00, considerados los momentos más calurosos del día. Las condiciones atmosféricas registradas mostraron temperaturas del aire oscilando entre los 27 y los 30 grados centígrados, con una humedad relativa que variaba entre el 60% y el 75%, aumentando la sensación térmica.

Se tomaron fotografías de los siguientes espacios urbanos:

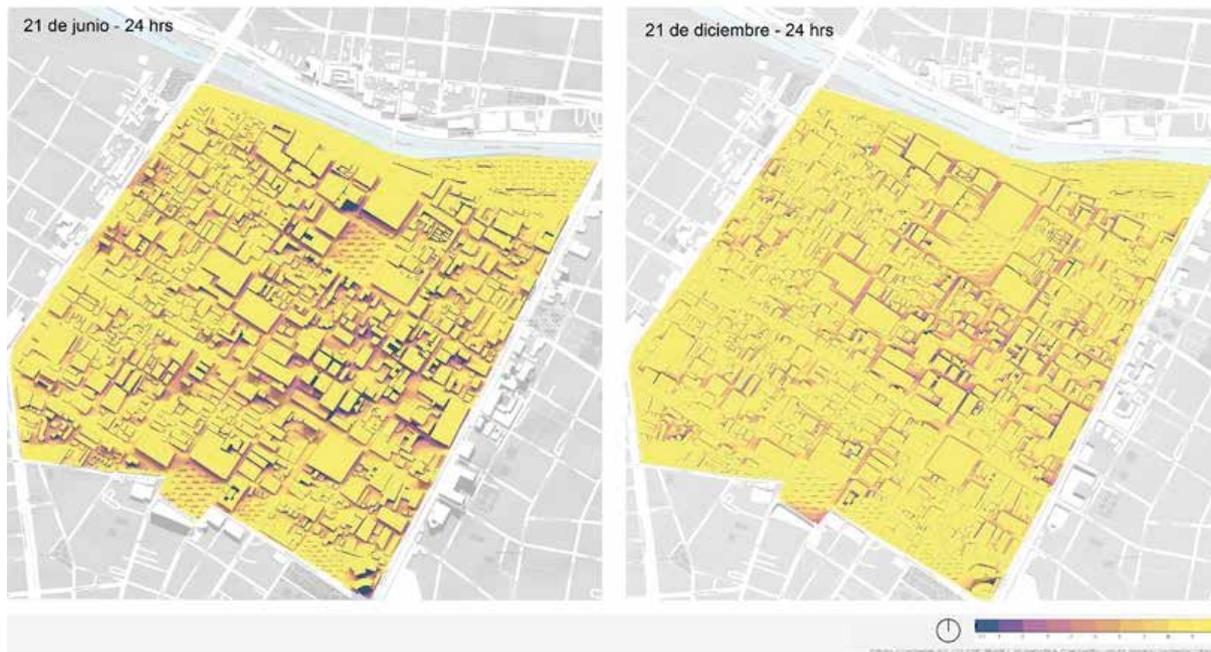
- Pasaje Santa Rosa, ubicado en la manzana del Palacio Municipal de Lima Metropolitana.
- Plazuela Santo Domingo.
- Jirón Carabaya.
- Alameda Chabuca Granda, que bordea el río Rímac.

2. Resultados

Uno de los hallazgos más significativos de este análisis fue la evidente falta de sombreados adecuados durante el solsticio de verano, 21 de diciembre. Excepto que en algunas zonas, donde la altura de las edificaciones y el ancho de las vías permite ciertas horas de sombras, el resto de la ciudad no garantiza suficientes zonas de protección del sol. Asimismo, se evidencia la falta de áreas verdes y arboladas en el casco histórico de Lima: esta carencia de espacios naturales y pavimentos permeables, combinada con la alta consolidación urbana y la presencia de extensas áreas pavimentadas, contribuye a intensificar el fenómeno de la isla de calor urbana (Fig. 03).

2.1. Análisis de vientos y microclima urbano

El análisis de los patrones de viento (Fig. 04), tanto en dirección como en velocidad, revela cómo los espacios públicos ubicados entre edificaciones permiten el flujo del viento, lo que en ocasiones puede aumentar la velocidad y afectar la sensación de confort de los usuarios. Durante el análisis, se registró una velocidad promedio del viento de 3.7 m/s, con una dirección predominante desde el sur (180°). En el caso específico del Jirón Carabaya, a la altura del Palacio de Gobierno, se observa cómo la presencia de edificios más altos aumenta la velocidad del viento, llegando a alcanzar casi los 5 m/s. Este fenómeno crea un efecto de esquina que reduce la sensación de bienestar de los usuarios que transitan por la zona. En contraste, en la Plazuela Santo Domingo, el Pasaje Santa Rosa y la Alameda Chabuca Granda, no se observan efectos significativos del viento.



El análisis del microclima urbano, como se muestra en la Figura 05, proporciona una importante visión sobre los desafíos ambientales y climáticos específicos que enfrenta la zona de estudio. Se observa claramente cómo la falta de vegetación urbana significativa y de proyectos urbanos orientados a mejorar el confort en los espacios públicos contribuyen a generar incomodidad entre los usuarios. En particular, la ausencia de sombreado adecuado resulta en temperaturas que superan los 35 grados centígrados en las zonas marcadas (como la Plaza de Armas o la Alameda Chabuca Granda), aumentando el efecto de isla de calor urbano. El fenómeno aumenta si se consideran que los vientos no alcanzan velocidades aptas para reducir la sensación térmica, debido a la morfología urbana propia del sector. Este análisis establece una sólida base para la formulación de estrategias efectivas de infraestructura verde y planificación urbana sostenible. Estas estrategias deben abordar de manera integral las necesidades climáticas y mejorar la calidad de vida de los residentes urbanos en Lima. Es fundamental, entonces, desarrollar políticas y proyectos que promuevan la plantación de árboles, la creación de áreas verdes y la implementación de soluciones de sombreado en los espacios públicos en zonas específicas.

Fig. 03 Análisis de horas de luz solar. Elaboración propia a partir de Autodesk Forma (2024).

En resumen, este análisis del microclima urbano destaca la urgencia de actuar para contrarrestar los efectos adversos del clima en los entornos urbanos.

2.2. Levantamiento fotográfico

Un área pública de particular interés fue el Pasaje Santa Rosa (Fig. 06), ubicado en la manzana del Palacio Municipal de Lima Metropolitana. En este espacio, se evidenció una correcta distribución de las bancas y una vegetación urbana escasa, ya que no genera sombras suficientes alrededor de todo el recorrido peatonal. No obstante la cantidad de árboles, por lo tanto, resultó ser escasa e insuficiente para proporcionar sombra y confort a los usuarios.

Asimismo, se examinó la Plazuela Santo Domingo (Fig. 07) y el Jirón Carabaya (Fig. 08), donde se observaron problemáticas similares en términos de la falta de áreas sombreadas y bancas mal ubicadas.

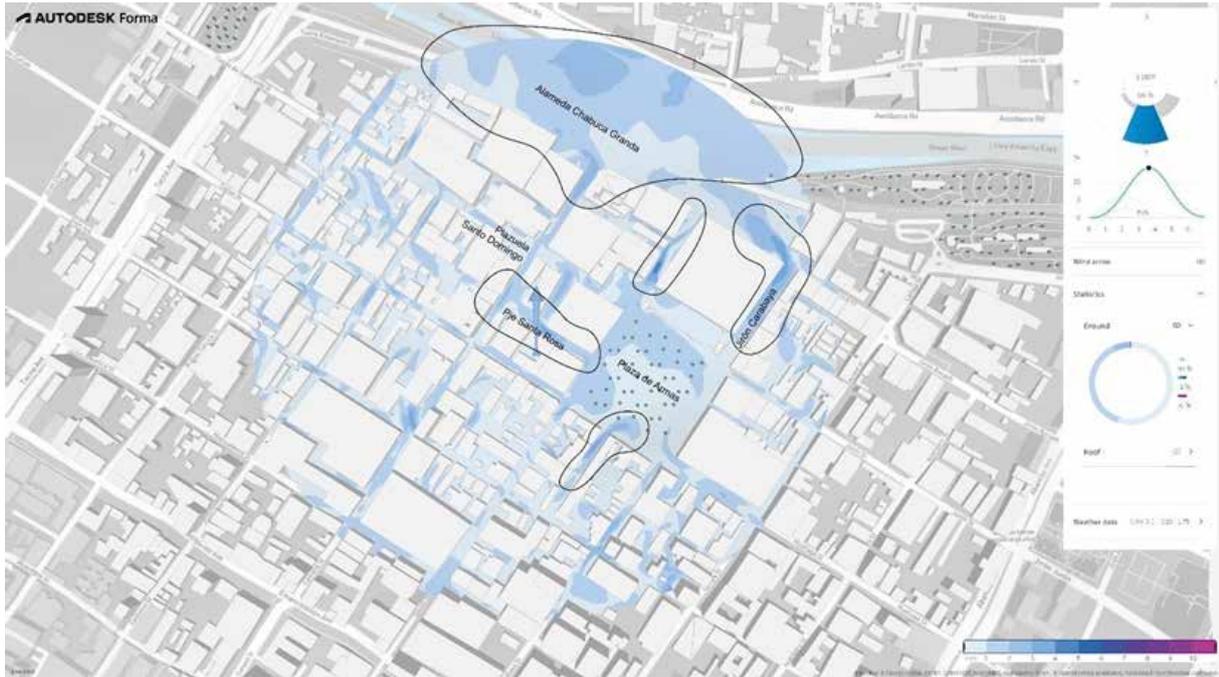


Fig. 04 Análisis de vientos: mes de enero, 12 horas. Elaboración propia a partir de Autodesk Forma (2024).

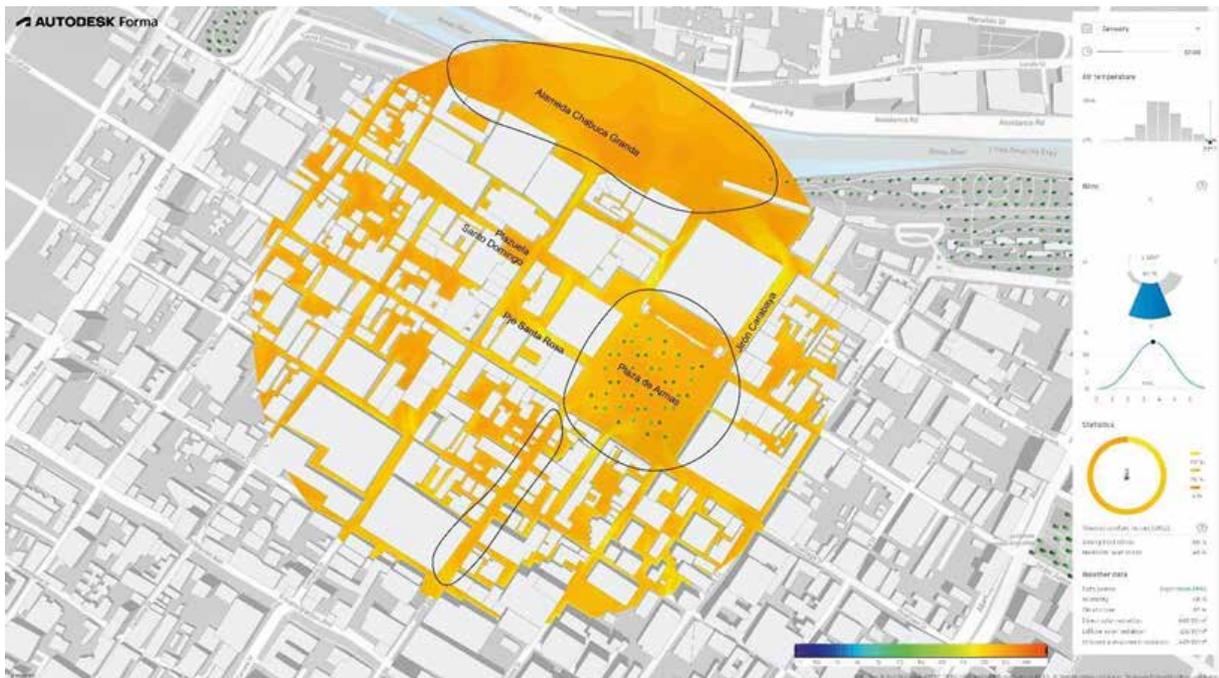


Fig.05 Análisis del microclima urbano: mes de enero, 12 horas. Elaboración propia a partir de Autodesk Forma (2024).



Fig.06 Pasaje Santa Rosa: se nota como la población utiliza las bancas ubicadas cerca de los árboles. Foto propia (2024).



Fig. 07 Plazuela Santo Domingo. La ubicación de las bancas no considera el recorrido solar y las sombras. Foto propia (2024).

Sin embargo, el espacio público más emblemático analizado fue la Alameda Chabuca Granda, que bordea el río Rímac. Este espacio se caracteriza por estar construido sobre un estacionamiento, lo que limita la posibilidad de incorporar vegetación que pueda proporcionar sombra adecuada. Las superficies impermeables, como el asfalto y el cemento, previenen la instalación de áreas verdes que podrían mitigar la sensación térmica en este espacio. A pesar de estas limitaciones, la población continúa utilizando la Alameda, gracias a que la municipalidad ha instalado estructuras tensadas que permiten a los usuarios disfrutar del espacio y de la ciudad (Fig. 09). Sin embargo, estas soluciones no son suficientes, especialmente durante los meses de verano, cuando la fuerte radiación solar contribuye a una sensación térmica desagradable, haciendo que la población prefiera gozar de la poca sombra que unos cuantos árboles genere al frente de la Alameda (Fig. 10).



Fig. 08 Jirón Carabaya. Foto propia (2024).



Fig. 09 Alameda Chabuca Granda. Foto propia (2024).



Fig. 10 La vegetación urbana de la Alameda. Foto propia (2024).

Estos hallazgos enfatizan la necesidad de implementar mejoras significativas en la infraestructura y el diseño urbano del centro histórico de Lima. La falta de espacios de sombra y descanso adecuados afecta negativamente la calidad de vida de los ciudadanos y visitantes, especialmente durante los días calurosos y soleados. La incorporación de más vegetación y mobiliario urbano adecuado y bien ubicado puede contribuir en gran medida a mejorar la experiencia peatonal y promover un entorno urbano más habitable y confortable en el corazón de la ciudad.

3. Conclusiones

Las ciudades ofrecen grandes oportunidades para mitigar los efectos del cambio climático y tienen un papel indispensable en liderar hacia un futuro sostenible y seguro para la humanidad (O'Malley et al., 2015). Las conclusiones extraídas del análisis detallado realizado en el centro histórico de la ciudad de Lima subrayan la importancia crítica de implementar más áreas verdes como una estrategia fundamental para mejorar la calidad de vida urbana y abordar el desafío del fenómeno de la isla de calor urbano. Mediante una simulación mediante Autodesk Forma de un aumento de la vegetación urbana en el sector de estudio, se evidencia lo siguiente (Fig. 11 y 12):

- La introducción de espacios verdes puede desempeñar un papel significativo en la reducción de las temperaturas y, por ende, en la mitigación de los impactos negativos del calor extremo en el entorno urbano.
- Aunque estas mejoras pueden generar un impacto positivo, por sí solas no serían suficientes para abordar completamente los desafíos climáticos que enfrenta la ciudad, ya que la reducción de temperaturas no presenta un nivel muy elevado.
- Por lo tanto, se necesita una infraestructura a escala urbana macro y territorial, respaldada por políticas integrales de mejora a nivel metropolitano, para enfrentar de manera efectiva el problema del calor urbano. Esto implica la implementación de medidas coordinadas y estratégicas que vayan más allá de la simple introducción de áreas verdes en el centro histórico y de la peatonalización de las calles.

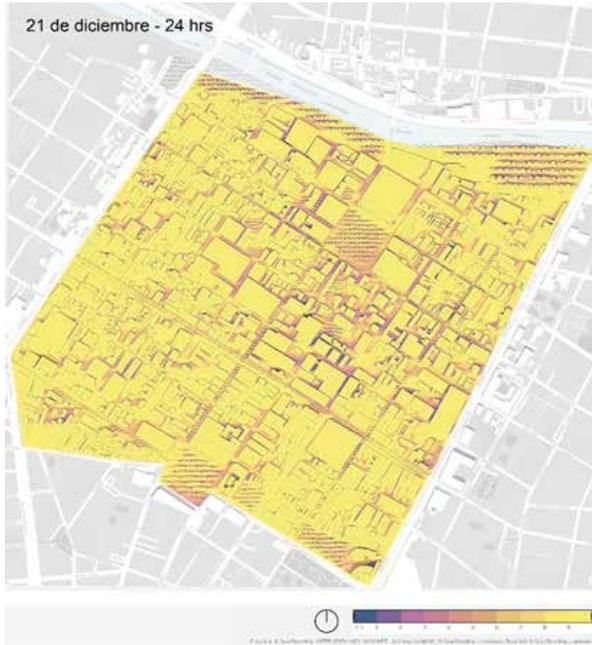


Fig. 11 Simulación del aumento de áreas verdes. Elaboración propia a partir de Autodesk Forma (2024).



Fig. 12 Microclima urbano: simulación de mejora. Mes de enero, 12 horas. Elaboración propia a partir de Autodesk Forma (2024).

Es evidente que se requieren intervenciones que aborden las causas fundamentales del fenómeno de la isla de calor urbano y promuevan un desarrollo urbano más sostenible y resiliente en toda la ciudad. Esto incluye definitivamente estrategias en base a los espacios públicos: un entorno que ofrece condiciones climáticas agradables y confortables puede fomentar la permanencia y el disfrute de las actividades al aire libre, mientras que un ambiente demasiado caluroso o incómodo puede desincentivar la presencia prolongada de las personas (Alegre Escorza et al., 2023). Asimismo, la correcta intervención y aplicación de criterios saludables y de áreas verdes, contribuye de manera notoria a generar una mejora calidad del aire, reducir la contaminación acústica y aumentar el confort emocional de los usuarios. Es, entonces, urgente reconocer la importancia de la infraestructura verde en la reducción de emisiones de gases contaminantes y en la promoción de entornos urbanos más sostenibles y resi-

lientes (Giambiagi & García, 2022). La adopción de estrategias que fomenten la eficiencia energética, la gestión adecuada del agua y la creación de entornos urbanos más habitables y saludables. En este contexto, es crucial reconocer la necesidad de intervenciones de diferentes escalas. Además de la infraestructura verde, se deben considerar iniciativas que promuevan la generación de sombras, como la creación de áreas peatonales techadas y la plantación de arbolado urbano. Asimismo, implementar techos verdes con una cobertura recomendada del 50% al 70% y muros verdes con más del 25% de cobertura, lo cual puede reducir significativamente la concentración de material particulado fino de más del 7% (Li et al., 2023). Estas acciones no solo contribuirían a reducir las temperaturas y mejorar el confort térmico de los ciudadanos, sino que también crearían entornos urbanos más agradables y saludables para vivir y trabajar (Ruefenacht Lea & Acero Juan Angel, 2017).

La Tabla 01 muestra las posibles estrategias de infraestructura verde y sombreado urbano aplicables al caso del casco histórico de Lima, su función en el alcance de la mejora del confort exterior y sus metas en base a los cumplimientos a corto, mediano o largo plazo. Efectivamente, hay soluciones que requieren mucha más planificación y duración para su aplicación, como en el caso de establecer grandes áreas verdes a escala urbana macro y territorial, sin embargo, se evidencian algunas que no requieren mucho dispendio económico y que mediante pequeñas inversiones se podrían aplicar ya en los espacios públicos existentes. De hecho, la falta de planificación y de la presencia de árboles y áreas verdes con pavimentos permeables juegan un papel crucial en la mitigación del efecto isla térmica en los espacios públicos (Román et al., 2017).

En resumen, para abordar de manera efectiva los desafíos relacionados con el calor urbano y mejorar la calidad de vida en la ciudad, se requiere una combinación de estrategias a diferentes escalas y un enfoque integral que abarque tanto la infraestructura verde como otras intervenciones urbanas clave. La implementación de estas medidas no solo beneficiaría a los residentes urbanos actuales, sino que también sentaría las bases para un futuro más sostenible y resiliente para las generaciones venideras.

Dimensión	Estrategia	Función	Plazo		
			Corto	Mediano	Largo
Infraestructura Verde	Techos verdes	Reduce la acumulación de calor urbano al disminuir la temperatura de las superficies de los techos.		x	x
	Fachadas verdes	Disminuye temperaturas envolventes de edificaciones, purifica el aire y mejora el confort exterior urbano.		x	x
	Bermas arboladas	Absorbe la radiación solar, reduce el calor de las edificaciones y genera sombras.	x	x	
	Pisos permeables	Permite la reducción de la acumulación de calor urbano al disminuir la temperatura del pavimento, influyendo así en el confort térmico de los peatones.		x	
	Áreas verdes: escala urbana macro	Reestructuran y mejoran el ecosistema urbano a macro escala, proporcionan frescura en áreas urbanas cercanas.			x
	Áreas verdes: escala urbana local	Brinda frescura a áreas urbanas específicas y a sus alrededores.		x	x
	Áreas verdes: escala urbana micro	Proporciona mejoras significativas si son parte de una infraestructura en red a diferentes escalas.	x		
	Huertos urbanos	Reutilizan terrenos baldíos, generan microeconomía, producen comida a microescala y aumentan las superficies permeables urbanas.	x	x	x
Generación de sombras	Sistemas de control solar en envolventes	Regulan el acceso solar en las edificaciones, evitando absorciones de calor y aumentando el confort higrotérmico interior.	x	x	x
	Sol-y-sombras	Protegen zonas urbanas peatonales específicas, aumentando la superficie en sombras.	x		
	Áreas peatonales techadas	Aumenta la cantidad de sombra a nivel de la calle y puede controlar la cantidad de radiación solar absorbida por las superficies del suelo.	x	x	

4. Bibliografía

ALEGRE ESCORZA, M., RODRÍGUEZ GARABOT, E., ALATA NINAPAYTAN, M. P., NOGALES FERNÁNDEZ-BLANCO, L., QUISPE MOGROVEJO, S. H., VELARDE HERZ, F., & DE LA CRUZ CHAUIZ, L. (2023). Guía de intervenciones en espacios públicos (CAF). CAF Banco de Desarrollo de América Latina. Recuperado de <https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/2015/Gu%C3%ada%20de%20intervenciones%20en%20espacios%20p%C3%blicos.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

GIAMBIAGI, D., & GARCÍA, B. G. (2022). Guía para ciudades más saludables. Principios e instrumentos para promover la salud a través de la planificación y la gestión urbana (CAF). Corporación Andina de Fomento. Recuperado de <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1971>

INEI. (2020, enero 17). La población de Lima supera los nueve millones y medio de habitantes. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Recuperado de <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/la-poblacion-de-lima-supera-los-nueve-millones-y-medio-de-habitantes-12031/>

Tabla. 01 Matriz de estrategias en base a infraestructura verde y generación de sombras adecuada al caso específico del centro histórico de Lima. Elaboración propia a partir de Ruefenacht Lea, & Acero Juan Angel (Eds.). (2017). Strategies for Cooling Singapore. A catalogue of 80+ measures to mitigate urban heat island and improve outdoor thermal comfort. Cooling Singapore (CS).

INSTITUTO METROPOLITANO DE PLANIFICACIÓN. (2022). Plan de Desarrollo Metropolitano de Lima 2021-2040 (PLANMET 2040). Municipalidad Metropolitana de Lima.

LI, S., ZOU, B., MA, X., LIU, N., ZHANG, Z., XIE, M., & ZHI, L. (2023). Improving air quality through urban form optimization: A review study. *Building and Environment*, 243, 110685. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110685>

NAPOLI, F. (2023). XV Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo SIIU2023. Calidad Del Aire y Ciudad Saludable. Planes de Mejora de La Calidad Del Aire Urbano En Lima y En Madrid.

O'MALLEY, C., PIROOZFAR, P., FARR, E. R. P., & POMPONI, F. (2015). Urban Heat Island (UHI) mitigating strategies: A case-based comparative analysis. *Sustainable Cities and Society*, 19, 222–235. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2015.05.009>

ROMÁN, E., GÓMEZ, G., & LUXÁN, M. (2017). La isla de calor en Madrid y su influencia en el confort urbano. En Pilar Mercader-Moyano (Ed.), *3er Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Eco-Eficientes* (pp. 479–508). Recuperado de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/59050/Emilia%20Roman.pdf>

RUEFENACHT LEA, & ACERO JUAN ANGEL (Eds.). (2017). *Strategies for Cooling Singapore. A catalogue of 80+ measures to mitigate urban heat island and improve outdoor thermal comfort. Cooling Singapore (CS)*. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000258216>

XVI Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo / Cristina Araujo Lima... [et al.] ; Contribuciones de Josefina Dámaris Gutiérrez ; Compilación de Mónica S. Martínez. - 1a ed compendiada. - Córdoba : Editorial de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba ; Cataluña : Universitat Politècnica de Catalunya, 2024.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-8486-61-1

1. Urbanismo. I. Araujo Lima, Cristina II. Gutiérrez, Josefina Dámaris, colab. III. Martínez, Mónica S., comp.

CDD 711.007