

Urban heat island and increase in temperature on urban roads in Huancayo/Peru

Roberto Angeles Vasquez, Maestro¹; Julio Angeles Suazo, Maestro²; Jose Flores Rojas, Doctor³; Fernando Boza Ccora, Maestro¹; Nataly Angeles Suazo, Bachiller⁴; Luis Suarez Salas, Bachiller³ and Hugo Abi Karam, Doctor⁵

¹Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú, roanvas@hotmail.com,

²Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo. Tayacaja, Perú, jangelesambiental@gmail.com

³Instituto Geofísico del Perú. Lima, Perú, jflores@igp.gob.pe, lsuarez@igp.gob.pe

⁴Universidad Tecnológica del Perú. Lima, Perú, nati2643@hotmail.com.

⁵Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brazil, hugo@igp.ufrj.br

Abstract-- The rapid urbanization of cities is changing the local climate, resulting in high temperatures and dense, difficult urban environments, lacking water and vegetation [1]. The present contribution estimates the intensity of the Surface Urban Heat Island (SUHI) during the period 2001 – 2022 for the Huancayo Metropolitan Area (AMH), Peru. The formation of the Surface Urban Heat Island (SUHI) was quantified using 2 methods: the first is the Streutker method, which adjusts the surface soil temperature (LST) (urban and rural surface) to a Gaussian surface. The second, quantile method proposed by José Flores, uses the difference between the 0.95 quantile of LST of the urban area and the median of the LST of the rural area. Both methods use LST remote sensing data at 0.05° resolution, obtained from the MODIS sensor onboard the TERRA and AQUA satellite. For the AMH, during the daytime periods, the intensity of SUHI in March and July represent the maximum and minimum increase. The night period presented maximum and minimum values in August and December respectively. In general, it was possible to show the main causes of the increase in surface temperature is the asphalt pavement, where the temperature can be up to 60 °C. Therefore, it is important to propose mitigation measures such as sustainable constructions and pavements that help mitigate the increase in surface temperature. As well as the importance of considering the Forest or vegetable plantations in an urban design or zoning.

Keywords-- heat island; Huancayo; road; pavement

Digital Object Identifier:

ISSN:

ISBN:

Isla de calor urbano e incremento de temperatura en vías urbanas en Huancayo/Perú

Roberto Angeles Vasquez, Maestro¹; Julio Angeles Suazo, Maestro²; Jose Flores Rojas, Doctor³; Fernando Boza Ccora, Maestro¹; Nataly Angeles Suazo, Bachiller⁴; Luis Suarez Salas, Bachiller³ and Hugo Abi Karam, Doctor⁵

¹Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú, roanvas@hotmail.com,

²Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo. Tayacaja, Perú, jangelesambiental@gmail.com

³Instituto Geofísico del Perú. Lima, Perú, jflores@igp.gob.pe, lsuarez@igp.gob.pe

⁴Universidad Tecnológica del Perú. Lima, Perú, nati2643@hotmail.com.

⁵Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brazil, hugo@igeo.ufrj.br

Resumen– La rápida urbanización de las ciudades está cambiando el clima local, lo que genera altas temperaturas y entornos urbanos densos y difíciles, carentes de agua y vegetación[1]. La presente contribución estima la intensidad de Isla de Calor Urbano Superficial (ICUS) durante el periodo 2001 – 2022 para el Área Metropolitana de Huancayo (AMH), Perú. Se cuantificó formación de la Isla de Calor Urbano Superficial, a partir de 2 métodos: el primero es el método de Streutker, el cual ajusta la temperatura superficial del suelo (LST) (superficie urbana y rural) a una superficie Gaussiana. El segundo, método de cuantil propuesto por José Flores, usa la diferencia entre el cuantil 0.95 de LST del área urbana y la mediana del LST del área rural. Ambos métodos usan data de sensoramiento remoto de LST a 0.05° de resolución, obtenido del sensor MODIS a bordo del satélite TERRA y AQUA. Para el AMH, durante los periodos diurnos, la intensidad de ICUS en marzo y julio representan el máximo y mínimo incremento. El periodo nocturno, presentó valores máximo y mínimo en agosto y diciembre respectivamente. En general se consiguió mostrar las principales causas del incremento de temperatura superficial es el pavimento asfaltado, donde la temperatura puede ser hasta 60 °C. Por ello es importante proponer medidas de mitigación como construcciones y pavimentos sostenible que ayuden a mitigar el incremento de temperatura superficial. Así como la importancia de considerar la Floresta o plantaciones vegetales en un diseño o zonificación urbana.

Palabras clave – isla de calor; Huancayo; avenida; pavimento

I. INTRODUCCIÓN

Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) se reconocen cada vez más como un enfoque prometedor para abordar el calor urbano y otros desafíos ambientales en las zonas urbanas. Las SbN utilizan los procesos y sistemas naturales de nuestro entorno para brindar múltiples beneficios, incluida la reducción del calor urbano al proporcionar sombra, evapotranspiración y otros efectos refrescantes [2]. Ejemplos de SbN incluyen techos frescos o verdes, bosques, parques urbanos y muros verdes. Los techos verdes pueden proporcionar aislamiento y reducir la cantidad de calor absorbido por los edificios, reduciendo así la temperatura urbana [3]; mientras que los bosques y parques urbanos pueden enfriar el microclima urbano mediante la transpiración, la sombra y la reducción de la cantidad de calor almacenado por el tejido urbano [4]. De manera similar, los muros verdes también pueden proporcionar sombra y enfriamiento por evaporación, así como mejorar la calidad del

aire mediante la absorción de contaminantes [5]. En general, se ha demostrado que un mayor albedo de las superficies urbanas y una mayor cobertura vegetal son estrategias efectivas de mitigación del calor urbano al reducir el flujo de calor sensible general y, en última instancia, la temperatura, a través de diferentes mecanismos [6].

La rápida urbanización ha dado lugar a la sustitución de superficies naturales (p. ej., tierras de cultivo y bosques) por superficies artificiales (p. ej., edificios y carreteras) [7], lo que ha llevado a un aumento continuo de las áreas urbanas [8]. Estos cambios alteran el equilibrio energético de la superficie [9], provocando temperaturas relativamente más cálidas en las zonas urbanas que en las zonas circundantes, lo que se conoce como fenómeno de isla de calor urbana (ICU) [10].

Además, recientemente se ha investigado exhaustivamente la relación entre el tipo de uso de la tierra y el efecto de ICU. La alteración de los usos del suelo es un importante impulsor de la migración y la urbanización intensivas, lo que resulta en el cambio de las propiedades del paisaje y también influye en la conversión de energía de la superficie a la atmósfera [11]. Varias categorías de uso del suelo tienen diferentes efectos sobre las condiciones térmicas en las áreas urbanas. La conversión del uso de la tierra de áreas rurales a urbanas influye en patrones de temperatura que son similares al fenómeno del calentamiento global [12]. Varios estudios previos han informado que el uso del suelo en áreas urbanas y su efecto térmico asociado tiene atributos inusualmente distintos [13].

Con el cambio climático en curso, sus efectos son cada vez más evidentes y se necesitan urgentemente medidas de mitigación [14]. Las medidas para mitigar un mayor calentamiento incluyen el aumento de la eficiencia energética de los edificios, entre otras cosas añadiendo capas aislantes a las superficies de los edificios para disminuir el consumo de energía y, por tanto, las emisiones de gases de efecto invernadero. En Europa, esto se logra principalmente mediante la modernización de los edificios existentes en lugar de agregar nuevos edificios altamente eficientes; se estima que los edificios energéticamente ineficientes representarán el 75% del total de edificios europeos en 2021 [15].

La presente contribución propone estimar la ICU del área metropolitana de Huancayo y determinar el incremento de

temperatura debido al pavimento donde contribuye a la formación de isla de calor urbano.

II. MATERIALES Y METODOS

Los materiales y métodos se presentan en tres subsecciones: en una se describe donde se hicieron las mediciones, en otra sección se describe el sensor que se utilizó y la última sección describe los métodos utilizados para la estimación de la ICUS.

A. Sitio y localización

El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Huancayo, capital política de la región de Junín (Andes centrales del Perú). Esta ciudad se encuentra a unos 3500 m sobre el nivel del mar (m.s.n.m) y tenía una población aproximada de 507075 habitantes. La ciudad de Huancayo está enclavada en el Valle del Mantaro que tiene una superficie de 319,4 km² [16]. Está bordeado por montañas que actúan como barreras naturales para la circulación del aire y áreas agrícolas que producen cantidades significativas de diferentes cultivos (es decir, hortalizas, maíz, patatas)[17].

El parque automotor cuenta con 64576 vehículos y es probablemente el principal foco de contaminación del aire del Área Metropolitana. También pueden liberarse contaminantes de fuentes puntuales, como las de reparación de automóviles, sistemas de calefacción, prácticas agrícolas intensivas, actividades de construcción/demolición entre otras.

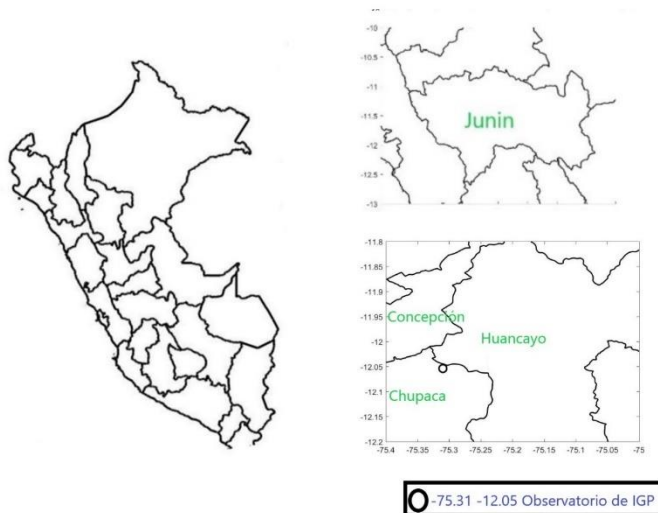


Fig. 1 A. Localización del Area metropolitana de Huancayo

Asimismo en la fig. 2 indica temperatura máxima en la zona urbana de Huancayo respecto a la zona rural de 16 °C y 5°C respectivamente.

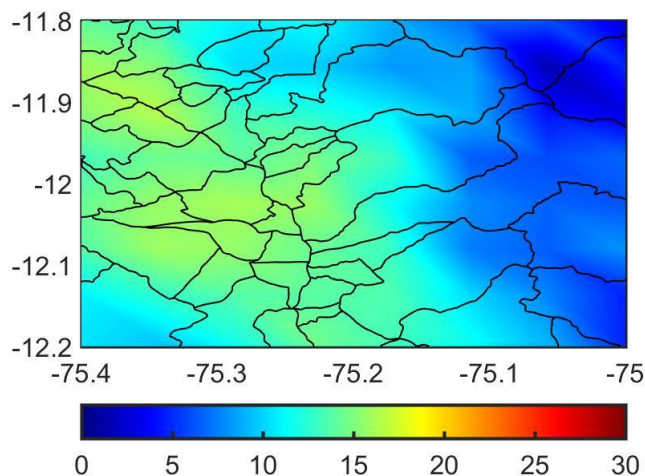


Fig. 2 media mensual de LST del periodo nocturno, ambos para diciembre del 2013.

B. MODIS data

Se utilizó el sensor MODIS del Satélite AQUA y TERRA, donde los sensores infrarrojos térmicos MODIS (TIR) miden radiancias de la parte superior de la atmósfera (TOA). Estas temperaturas de brillo son diferentes de las Land Surface Temperature (LST) con una diferencia de 1 a 5 K, debido al ángulo de visión del satélite no vertical, la geometría urbana, la variación subpíxel de la temperatura superficial, la emisividad de superficie variable y varios efectos atmosféricos [18].

Para eliminar estos efectos y estimar el LST desde el espacio, se ha diseñado un método MODIS LST de día y noche para aprovechar la capacidad única del instrumento MODIS [19]. Este método utiliza pares de día-noche de datos TIR en siete bandas del MODIS para recuperar simultáneamente temperaturas superficiales y emisividades promedio de banda en las bandas 20, 22, 23, 29 y 31-33 sin conocer el vapor de agua y los perfiles de temperatura atmosférica con alta precisión [20]. Además, con el fin de generar estimaciones de temperatura urbana regionalmente más representativas, se consideró la rugosidad tridimensional de las superficies urbanas, que depende de las imágenes satelitales [21].

En el presente estudio, se realizó un promedio mensual y escala de hasta una resolución de 5 km, para analizar los efectos de reescalar en los patrones estadísticos de LST y luego compararlos con el producto MOD11C3 Global CMG, que es un promedio mensual compuesto, derivado del producto global diario MOD11C1. Estos datos se almacenan como valores LST de cielo despejado durante un período de meses a una resolución de 0.05° (5600 metros).

Con el objetivo de separar las áreas urbanas y rurales, se utilizó el producto MCD12C1 MODIS de cobertura terrestre tipo MCD12C1 con resolución 0.05° para clasificar la superficie

terrestre de acuerdo con el proyecto internacional Geosphere-Biosphere Project (IGBP), 17 tipos de cobertura del suelo. En esta categorización, se ha obtenido una categoría urbana a partir de las observaciones MODIS versión 4 siguiendo la contribución de Schneider [22].

C. Estimación de la ICUS

Para determinar la ICUS se utilizó el Método Gaussiano [23], y el método de cuantiles [24], ambos métodos utilizaron en la estimación de isla de calor urbano superficial en las ciudades de Arequipa, Huancayo e Iquitos (e.g.[25]).

Para determinar la ICUS se utilizó el Método de Streutker propuesta por Streutker (2002) [23].

La técnica usa un ajuste least-square fit de toda la isla de calor a una superficie gaussiana de la forma (Fig. 3):

$$T_{(x,y)} = T_0 + a_1x + a_2y + a_0e^{-\left(\frac{(x-x_0)^2}{2a_x^2} + \frac{(y-y_0)^2}{2a_y^2}\right)} \quad (1)$$

Donde $T_{(x,y)}$ es la temperatura superficial total, incluidos los píxeles urbanos y rurales. T_0 , a_1 y a_2 son los componentes constante y lineal de la temperatura rural, respectivamente.

El método cuantil propuesto por Flores [24] para estimar la intensidad de la ICUS, donde se basa en el análisis estadístico de cuantiles de LST urbano y rural.

Asimismo, propuso la siguiente fórmula para estimar la intensidad ICUS para una resolución de 5 km:

$$ICUS = Q_5^{urbano} - Q_3^{rural} \quad (2)$$

Donde Q_5^{urbano} es el cuantil 0.95 de la distribución LST sobre el área urbana y Q_3^{rural} es la mediana de la distribución LST sobre el área rural, ambas con una resolución de 5 km.

D. HIKMICRO B20

Está diseñado para medir la temperatura y equipado con un detector térmico de resolución 256×192 y un detector óptico de 2 MP. La termografía varía de $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ a $550 \text{ }^\circ\text{C}$ ($-4 \text{ }^\circ\text{F}$ a $1022 \text{ }^\circ\text{F}$) (Fig. 4).

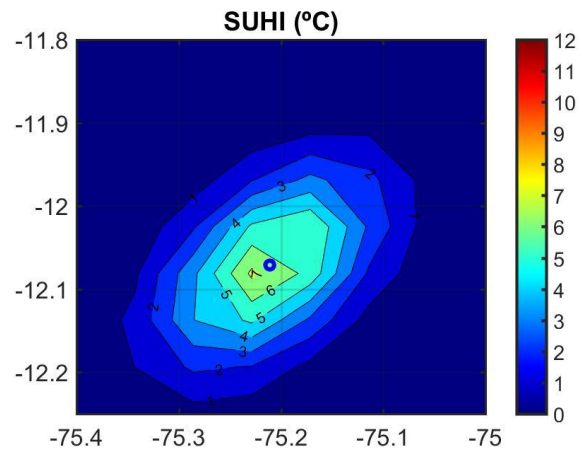


Fig. 3 (a) Interpolación planar Least – Squares para la LST rural para enero 2016.



Fig. 4 Camara Termal, modelo B20.

III. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados para las magnitudes de ICUS diurna y nocturna a largo plazo (2001-2022) para todos los meses sobre el AMH usando el método de Streutker y cuantiles, se presentan en la Fig. 5 y 6. La intensidad ICUS más alta para el periodo ocurrió en marzo ($7 \text{ }^\circ\text{C}$) y se observó la intensidad ICUS más baja en julio ($3 \text{ }^\circ\text{C}$).

El comportamiento mensual del ICUS visto en la fig. 5 y 6, muestra que, aunque la LST tiene una fuerte variación las intensidades de ICUS y la variación mensual son poco influenciados en cuanto a amplitud se refiere, observados para ambos métodos Streutker y de cuantiles.

Para el AMH, los resultados del cálculo de la ICUS con el uso del método estadístico de cuantiles y Streutker en periodos diurno y nocturno se muestran en la fig. 6. Intensidades de ICUS con el método cuantil para periodo nocturno presentan valor máximo en agosto (6 °C) y mínimo en diciembre (4 °C).

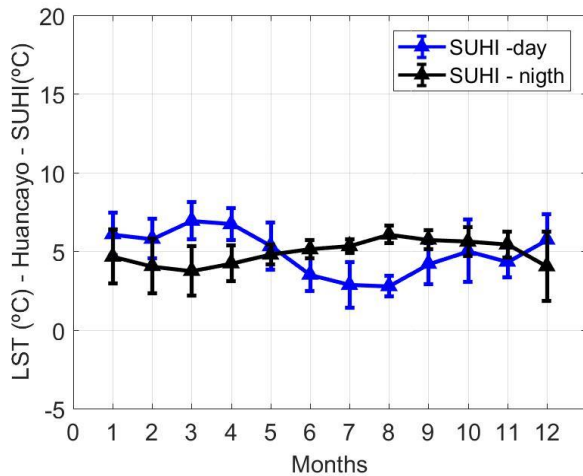


Fig. 5 Evolución temporal de 2001-2022, media mensual diurno y nocturno de intensidad de la ICUS (°C) para el AMH utilizando el método de cuantiles

°C. No obstante se visualiza en zonas de cobertura vegetal de arboles la temperatura es alrededor de 5°C o menor. Por ello es importante señalar que la Floresta o cubierta vegetal alrededor de una superficie urbana logra mitigar el efecto de isla de calor urbano y se corrobora en las fig, 7, 8, 9 y 10.



Fig. 7 Imagen termal para una vía no pavimentada en el AMH

Además, la dirección del viento también puede aumentar la escala y la intensidad de la isla urbana (a favor del viento), pero esto tiene un efecto opuesto en las zonas de barlovento [26]. Por su parte, Robitu et al. [27] indica que las temperaturas superficiales se reducen en presencia de árboles y agua y se

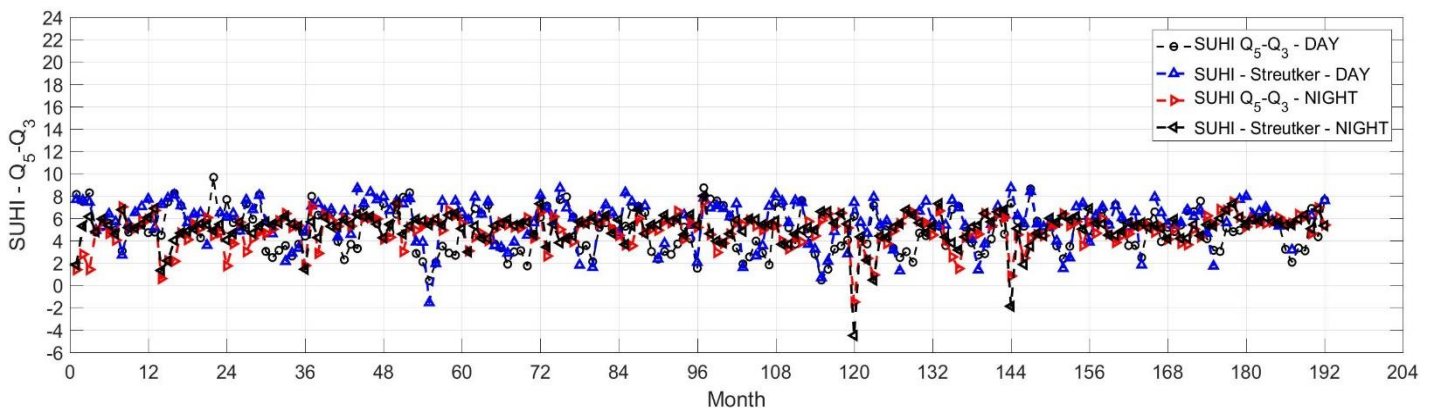


Fig. 6 Evolución temporal de 2001-2022 diurno y nocturno de intensidad de la ICUS (°C) para el AMH utilizando el método de cuantiles y Streutker

Asimismo, en la Fig. 7 se observa una superficie no pavimentada (uso de tierra), que presenta temperaturas alrededor de 35 °C. No obstante en la Fig. 8 en una superficie asfaltada logra alcanzar temperaturas de 55 °C; comparando con una superficie de concreto (Fig. 10) logra alcanzar valor de 51

mejora el confort térmico. El uso eficaz de la vegetación en las ciudades puede mejorar significativamente el microclima al reducir la temperatura del aire hasta 4°C mediante techos verdes, 9°C mediante el uso de árboles y 12°C mediante sistemas verdes verticales. Estos resultados muestran que la vegetación y el agua deben considerarse como medios reales para mejorar las condiciones microclimáticas externas. [28].

La vegetación urbana reduce la temperatura localmente, especialmente en verano. De hecho, la vegetación en la ciudad tiene un poderoso impacto en el papel del enfriamiento pasivo

a través del efecto de la humidificación del aire y la reducción de la temperatura [29], [30]. La vegetación urbana también puede ser una estrategia eficaz para reducir el consumo de energía en los edificios urbanos regulando el microclima y protegiendo la radiación solar en las superficies de los edificios [31]

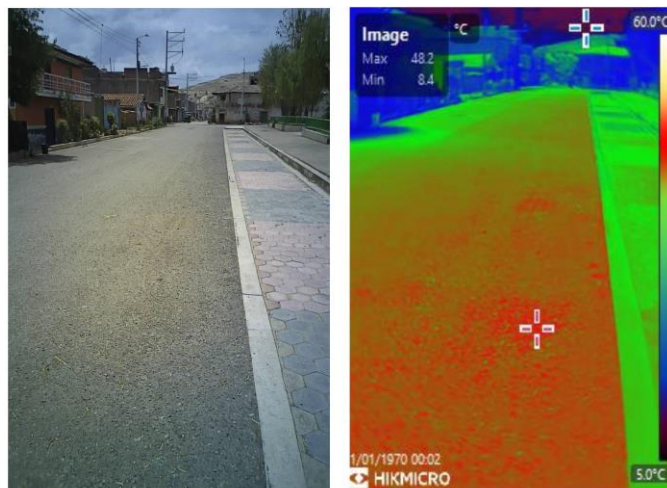


Fig. 8 Imagen termal para una vía pavimentada por asfalto en el AMH

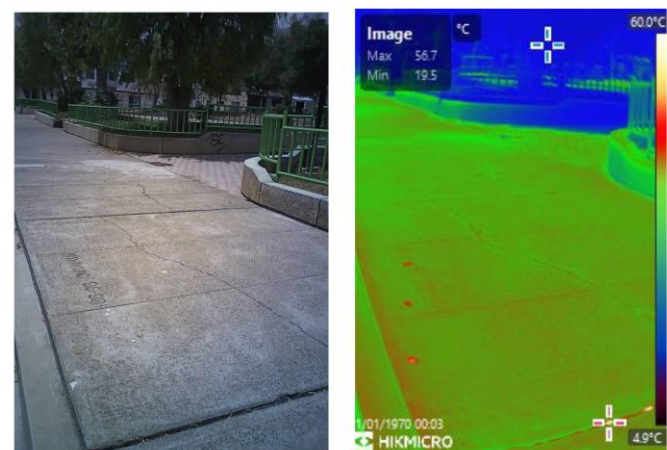


Fig. 9 Imagen termal para un parque con concreto de granito

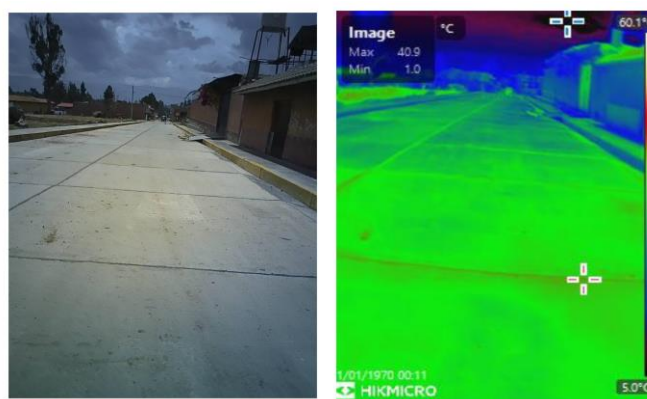


Fig. 10 Imagen termal para una vía pavimentada con concreto en el AMH

IV. CONCLUSIONES

Con la ayuda de los datos obtenidos del sensor MODIS, a una resolución (0.05°) para el AMH, con el método de Streutker y cuantiles, dividido en 2 casos: área urbana y rural De acuerdo con el análisis y las pruebas presentadas en este documento, se concluyó:

Para el AMH, durante los periodos diurnos, la intensidad de ICUS en marzo y julio representan el máximo y mínimo incremento que podría ser alcanzado dentro del área urbana comparados con áreas rurales. El periodo nocturno, presentó valores máximo y minimo en agosto y diciembre respectivamente. En general se consiguió mostrar la formación de la isla de calor en el AMH; donde una de los principales causas del incremento de temperatura superficial es el pavimento asfaltado, donde la temperatura puede ser hasta 60 °C.

Por ello es importante proponer medidas de mitigación como construcciones y pavimentos sostenible que ayuden a mitigar el incremento de temperatura superficial. Así como la importancia de considerar la Floresta o plantaciones vegetales en un diseño o zonificación urbana.

Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para la planificación urbana y la salud pública en las ciudades tropicales. Las variaciones estacionales en las ICUS pueden afectar el consumo de energía, la calidad del aire y la salud humana, particularmente durante eventos de calor extremo. Los planificación urbana y los formuladores de políticas deberían considerar estas variaciones estacionales al desarrollar estrategias para mitigar los impactos de la ICUS y mejorar la resiliencia urbana. Por ejemplo, en estrategias para mitigar las enfermedades infecciosas tropicales desatendidas, como las epidemias de dengue.

AGRADECIMIENTOS

Los conjuntos de datos de la temperatura superficial se obtuvieron de la NASA desde su sitio web en: <http://modis.gsfc.nasa.gov/>; y a la Universidad Nacional del Centro del Perú por la data del equipo HIKMICRO modelo B20 a partir del Proyecto PROPIEDADES FÍSICAS DEL PAVIMENTO Y SU RELACIÓN CON LAS ISLAS DE CALOR Y EL MATERIAL PARTICULADO (PM10 Y PM2.5) EN LA ZONA METROPOLITANA DE HUANCAYO (DISTRITOS DE EL TAMBO, HUANCAYO Y CHILCA)

REFERENCIAS

- [1] S. Bouketta, "Urban Cool Island as a sustainable passive cooling strategy of urban spaces under summer conditions in Mediterranean climate," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 99, no. May, p. 104956, 2023, doi: 10.1016/j.scs.2023.104956.
- [2] B. Augusto, P. Roebeling, S. Rafael, J. Ferreira, A. Ascenso, and C. Bodilis, "Short and medium- to long-term impacts of nature-based solutions on urban heat," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 57, 2020, doi: 10.1016/j.scs.2020.102122.
- [3] X. Wang, H. Li, and S. Sodoudi, "The effectiveness of cool and green roofs in mitigating urban heat island and improving human thermal comfort," *Build. Environ.*, vol. 217, 2022, doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109082.
- [4] H. Shao and G. Kim, "A Comprehensive Review of Different Types of Green Infrastructure to Mitigate Urban Heat Islands: Progress, Functions, and Benefits," *Land*, vol. 11, no. 10, 2022, doi: 10.3390/land11101792.
- [5] E. Shafiee, M. Faizi, S. A. Yazdanfar, and M. A. Khanmohammadi, "Assessment of the effect of living wall systems on the improvement of the urban heat island phenomenon," *Build. Environ.*, vol. 181, 2020, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.106923.
- [6] H. Akbari, L. S. Rose, and H. Taha, "Analyzing the land cover of an urban environment using high-resolution orthophotos," *Landsc. Urban Plan.*, vol. 63, no. 1, 2003, doi: 10.1016/S0169-2046(02)00165-2.
- [7] S. Rafael, V. Rodrigues, A. P. Fernandes, B. Augusto, C. Borrego, and M. Lopes, "Evaluation of urban surface parameterizations in WRF model using energy fluxes measurements in Portugal," *Urban Clim.*, vol. 28, 2019, doi: 10.1016/j.uclim.2019.100465.
- [8] H. Dadashpoor, P. Azizi, and M. Moghadasi, "Land use change, urbanization, and change in landscape pattern in a metropolitan area," *Sci. Total Environ.*, vol. 655, 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.267.
- [9] Y. Chang *et al.*, "Exploring diurnal thermal variations in urban local climate zones with ECOSTRESS land surface temperature data," *Remote Sens. Environ.*, vol. 263, 2021, doi: 10.1016/j.rse.2021.112544.
- [10] T. Oke, "The energetic basic of the urban heat island," *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 108, no. 455, 1982, doi: 10.1256/smsqj.45501.
- [11] G. Nimish, H. A. Bharath, and A. Lalitha, "Exploring temperature indices by deriving relationship between land surface temperature and urban landscape," *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.*, vol. 18, 2020, doi: 10.1016/j.rsae.2020.100299.
- [12] R. B. Dhar, S. Chakraborty, R. Chattopadhyay, and P. K. Sikdar, "Impact of Land-Use/Land-Cover Change on Land Surface Temperature Using Satellite Data: A Case Study of Rajarhat Block, North 24-Parganas District, West Bengal," *J. Indian Soc. Remote Sens.*, vol. 47, no. 2, 2019, doi: 10.1007/s12524-019-00939-1.
- [13] Q. Huang, J. Huang, X. Yang, C. Fang, and Y. Liang, "Quantifying the seasonal contribution of coupling urban land use types on Urban Heat Island using Land Contribution Index: A case study in Wuhan, China," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 44, 2019, doi: 10.1016/j.scs.2018.10.016.
- [14] S. Ornes, "How does climate change influence extreme weather? Impact attribution research seeks answers," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 115, no. 33, 2018, doi: 10.1073/pnas.1811393115.
- [15] S. Wolf, J. Teitge, J. Mielke, F. Schütze, and C. Jaeger, "The European Green Deal — More Than Climate Neutrality," *Intereconomics*, vol. 56, no. 2, 2021, doi: 10.1007/s10272-021-0963-z.
- [16] A. H. De La Cruz, Y. B. Roca, L. Suarez-Salas, J. Pomalaya, D. A. Tolentino, and A. Gioda, "Chemical characterization of PM 2.5 at rural and urban sites around the metropolitan area of Huancayo (Central Andes of Peru)," *Atmosphere (Basel)*, vol. 10, no. 1, 2019, doi: 10.3390/atmos10010021.
- [17] A. Milan and R. Ho, "Livelihood and migration patterns at different altitudes in the Central Highlands of Peru," *Clim. Dev.*, vol. 6, no. 1, 2014, doi: 10.1080/17565529.2013.826127.
- [18] B. Dousset and F. Gourmelon, "Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and landcover," 2003, doi: 10.1016/S0924-2716(03)00016-9.
- [19] Z. Wan, *MODIS land-surface temperature algorithm theoretical basis document (LST ATBD)*. Institute for Computational Earth System Science, Santa Barbara., no. April. 1999.
- [20] Z. Wan and Z. L. Li, "A physics-based algorithm for retrieving land-surface emissivity and temperature from eos/modis data," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 35, no. 4, 1997, doi: 10.1109/36.602541.
- [21] J. A. Voogt and T. R. Oke, "Thermal remote sensing of urban climates," *Remote Sens. Environ.*, 2003, doi: 10.1016/S0034-4257(03)00079-8.
- [22] A. Schneider, M. A. Friedl, D. K. McIver, and C. E. Woodcock, "Mapping Urban Areas by Fusing Multiple Sources of Coarse Resolution Remotely Sensed Data," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 69, no. 12, 2003, doi: 10.14358/PERS.69.12.1377.
- [23] D. R. Streutker, "Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas," *Remote Sens. Environ.*, vol. 85, no. 3, 2003, doi: 10.1016/S0034-4257(03)00007-5.
- [24] J. L. Flores R., A. J. Pereira Filho, and H. A. Karam, "Estimation of long term low resolution surface urban heat island intensities for tropical cities using MODIS remote sensing data," *Urban Clim.*, 2016, doi: 10.1016/j.uclim.2016.04.002.
- [25] J. M. A. Suazo, J. L. F. Rojas, and H. A. Karam, "Isla de Calor Urbana Superficial para Tres Megaciudades en África," *Anuário do Inst. Geociências - UFRJ*, 2020, doi: 10.11137/2020_2_64_75.
- [26] J. A. Cruz, A. C. Blanco, J. J. Garcia, J. A. Santos, and A. D. Moscoso, "Evaluation of the cooling effect of green and blue spaces on urban microclimate through numerical simulation: A case study of Iloilo River Esplanade, Philippines," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 74, 2021, doi: 10.1016/j.scs.2021.103184.
- [27] M. Robitu, M. Musy, C. Inard, and D. Groleau, "Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate," *Sol. Energy*, vol. 80, no. 4, 2006, doi: 10.1016/j.solener.2005.06.015.
- [28] Y. Zhou *et al.*, "Studies on urban park cooling effects and their driving factors in China: Considering 276 cities under different climate zones," *Build. Environ.*, vol. 222, 2022, doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109441.
- [29] P. K. Cheung, C. Y. Jim, and C. T. Siu, "Effects of urban park design features on summer air temperature and humidity in compact-city milieu," *Appl. Geogr.*, vol. 129, 2021, doi: 10.1016/j.apgeog.2021.102439.
- [30] N. Meili, J. A. Acero, N. Peleg, G. Manoli, P. Burlando, and S. Fatichi, "Vegetation cover and plant-trait effects on outdoor thermal comfort in a tropical city," *Build. Environ.*, vol. 195, 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.107733.
- [31] M. Palme, R. Privitera, and D. La Rosa, "The shading effects of Green Infrastructure in private residential areas: Building Performance Simulation to support urban planning," *Energy Build.*, vol. 229, 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110531.