

Superficial urban heat island in the metropolitan area of Grande Vitoria/Brazil

Julio Angeles Suazo, Maestro¹; Roberto Angeles Vasquez, Maestro²; Carmencita Lavado Meza, Doctor³; Leonel de la Cruz Cerron, Maestro⁴; Nataly Angeles Suazo, Bachiller⁵; Jose Flores Rojas, Doctor⁶ and Hugo Abi Karam, Doctor⁷

¹Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo. Tayacaja, Perú, jangelesambiental@gmail.com

²Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú, roanvas@hotmail.com,

³Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa. Huancayo, Perú, clavado@uniscjsa.edu.pe

⁴Universidad Continental. Huancayo, Perú, ldelacruz@continental.edu.pe

⁵Universidad Tecnológica del Perú. Lima, Perú, nati2643@hotmail.com

⁶Instituto Geofísico del Perú. Lima, Perú, jflores@igp.gob.pe

⁷Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brazil, hugo@igeo.ufrj.br

Abstract– This contribution estimates the intensity of the Surface Urban Heat Island (SUHI) during the period 2001 - 2020 for the Metropolitan Area of Grande Vitoria (MAGV), located in Brazil in the state of Espiritu Santo. In order to quantify the SUHI, 2 methods were used: the first is the Streutker method, in which it uses a Gaussian surface to adjust the Land Superficial Temperature (LST) of the urban and rural surface. The second method proposed by Jose Flores, uses the difference between the 0.95 quantiles of LST for the urban area and the median of the LST for the rural area. Both methods use remote sensing data from monthly LST and annual Land Cover Type products at 0.05° resolution, obtained from the MODIS sensor on board the TERRA and AQUA satellite. In general, quantile methods can be used as a supplementary analysis of the Streutker method for cities with high LST, with non-ellipsoid forms or located in coastal regions. In the AMGV, in the daytime periods, the maximum SUHI occurred in December (4.47 °C) and minimum in July (3.22 °C) and the night period, the maximum SUHI occurred in November (3.15 °C) and minimum in August (2.52 °C) using the quantile method since the Streutker method does not fit due to the border with the Santa Maria River.

Keywords-- heat island; Vitoria; Brazil; temperature; quantile

Digital Object Identifier:

ISSN:

ISBN:

Isla de calor urbano superficial en el Area Metropolitana de Grande Vitoria

Julio Angeles Suazo, Maestro¹; Roberto Angeles Vasquez, Maestro²; Carmencita Lavado Meza, Doctor³; Leonel de la Cruz Cerron, Maestro⁴; Nataly Angeles Suazo, Bachiller⁵; Jose Flores Rojas, Doctor⁶ and Hugo Abi Karam, Doctor⁷

¹Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo. Tayacaja, Perú, jangelesambiental@gmail.com

²Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú, roanvas@hotmail.com,

³Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa. Huancayo, Perú, clavado@uniscjsa.edu.pe

⁴Universidad Continental. Huancayo, Perú, ldelacruz@continental.edu.pe

⁵Universidad Tecnológica del Perú. Lima, Perú, nati2643@hotmail.com

⁶Instituto Geofísico del Perú. Lima, Perú, jflores@igp.gob.pe

⁷Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brazil, hugo@igeo.ufrj.br

Resumen– La presente contribución estima la intensidad de Isla de Calor Urbano Superficial (ICUS) durante el periodo 2001 – 2020 para el Area Metropolitana de Grande Vitoria (AMGV), localizado en Brasil en el estado de Espiritu Santo. En orden a cuantificar la ICUS, se usó 2 métodos: el primero es el método de Streutker, en el cual usa una superficie Gaussiana para ajustar la temperatura superficial del suelo (LST) de la superficie urbana y rural. El segundo método propuesto por Jose Flores, usa la diferencia entre los cuantiles 0.95 de LST para el área urbana y la mediana del LST para el área rural. Ambos métodos usan data de sensoramiento remoto de LST mensual y producto anual de tipo de cobertura de suelo (Land Cover Type) a 0.05° de resolución, obtenido del sensor MODIS a bordo del satélite TERRA y AQUA. En general, los métodos de cuantiles puede ser usado como un análisis complementario del método de Streutker para ciudades con alta LST, con formas no elipsoidaes o localizadas en regiones costeras. En el AMGV, en los periodos diurnos, la ICUS máximo ocurrió en diciembre (4.47 °C) y mínimo en julio (3.22 °C) y el periodo nocturno, la ICUS máximo se produjo en noviembre (3.15 °C) y mínimo en agosto (2.52 °C) utilizando el método de cuantiles ya que debido a la frontera con el Rio de Santa Maria no se ajusta el método de Streutker.

Palabras clave – isla de calor; Vitoria; Brazil; cuantiles

I. INTRODUCCIÓN

La población mundial urbana en el 2016 representa el 54.5% de la población mundial total (aproximadamente, 4034 millones). Se espera que aumente hasta un 60% por ciento para 2050, cuando se proyecta que 5058 millones de personas vivirán en áreas urbanas [1].

Por el contrario, la población rural mundial está disminuyendo y se espera que alcance un pico justo por debajo de 3.4 mil millones poco después de 2020 y luego disminuya hasta 3.2 mil millones a partir de 2050 [2].

La Área Metropolitana de Grande Vitoria tiene un área de 2331.03 km² y posee una población aproximadamente de 1.9 millones de habitantes, con densidad geográfica de 808.27 hab/km² aproximadamente. El desarrollo de las áreas urbanas produce una gran modificación de la superficie de la tierra y los

climas locales pueden modificarse mediante estos cambios [3]–[5]. En general, los microclimas urbanos son más cálidos que su entorno en cualquier momento específico del día en ciudades de latitud media. Este fenómeno se conoce como isla de calor urbano [6]–[8].

El efecto isla de calor urbano es un desafío apremiante en las ciudades de todo el mundo, impulsado por factores como la urbanización y la pérdida de espacios verdes. Las plantaciones en terrazas han surgido como una solución prometedora para mitigar el calor urbano. Estos jardines en azoteas reducen la temperatura ambiente y de la superficie, mejoran el confort térmico y promueven la sostenibilidad ambiental [9].

Una isla de calor urbana es una ciudad o zona con temperaturas considerablemente más altas que las zonas circundantes. Otra interpretación de una isla de calor urbana es la de una ciudad con mayores temperaturas del aire urbano que las áreas rurales circundantes. Esto se debe principalmente a la alta capacidad térmica de los materiales de construcción; una disminución del flujo de calor latente debido al aumento del drenaje de agua superficial; un aumento del calor antropogénico, y en conjunto con una reducción en la cantidad de espacios abiertos y verdes en contextos urbanos [10]. Ocurre cuando grandes concentraciones de superficies pavimentadas, edificios y otras superficies que absorben y retienen el calor reemplazan la cobertura natural del suelo en entornos metropolitanos. Como resultado, la temperatura aumenta, lo que aumenta el gasto de energía, contribuye a un aumento de las enfermedades y muertes relacionadas con el calor y contribuye a una mayor contaminación del aire [11]. Las estructuras artificiales, como casas y carreteras, absorben y reemiten el calor solar de manera más eficiente que los hábitats naturales, como los bosques y las masas de agua. Debido a la alta densidad de estas estructuras y la escasez de vegetación cercana, las áreas urbanas producen "islas" con temperaturas más altas en comparación con las zonas más rurales circundantes [12].

El aumento del calor urbano plantea amenazas importantes para la salud humana, como riesgos elevados de enfermedades cardiovasculares [13]. Al mismo tiempo, el aumento de las

temperaturas da como resultado un mayor consumo de energía de los edificios para aire acondicionado y una mayor quema de combustibles fósiles, lo que aumenta las emisiones de carbono [14]. La falta de atención adecuada al despliegue de estrategias de mitigación efectivas en ciudades de rápido crecimiento podría exacerbar aún más los impactos negativos de la ICU. Los pavimentos y los edificios de hormigón suelen tener una masa térmica relativamente alta, una capacidad calorífica baja y un albedo bajo. Gran parte de la radiación solar absorbida se convierte en calor sensible, elevando la temperatura del aire exterior [15]. Los espacios verdes, los techos frescos (techos altamente reflectantes) y los techos verdes son medidas efectivas de mitigación del cambio climático, ya que se ha demostrado que enfrían el ambiente térmico urbano [16]. Los techos verdes reducen la temperatura del aire mediante la sombra y el aumento de la evapotranspiración [17].

La presente contribución propone la estimación de la ICUS a baja resolución durante el periodo (2001-2020) para el área metropolitana de Grande Vitoria (AMGV). El método se basa en el análisis de cuantil estadístico de datos de LST según Flores [18] obtenidos del sensor MODIS a bordo de los satélites AQUA y TERRA y el método de Streutker [19].

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 Área Metropolitana de Grande Vitoria (AMGV) está localizado al sur-este de América del Sur, en Brasil, estado de Espiritu Santo, extendiéndose aproximadamente entre 19 °S a 21 °N y 39 °W a 41 °W. A pesar del hecho que el área urbana está localizada en América del Sur, las diferencias en la localización geográfica, variación en la elevación, característica del alrededor de las regiones rurales y distribución de áreas urbanas, genera importantes diferencias entre la ICUS en la ciudad. La AMGV posee, clima tropical caliente (temperatura media del mes más frío 18.8 °C y la mínima es 2 °C, más caliente que el resto de los estados de Brasil) y húmedo consecutivo al mes de agosto, con temperaturas máximas normalmente en diciembre y enero.

La estructura geomorfológica del territorio de Espiritu Santo determina el tipo de uso de la tierra, los macisos rocosos que son destinados a la preservación albergan a mata atlántica, áreas de pastos, los principales cultivos son de plátano y café, áreas urbanas principalmente.

En orden para distinguir el comportamiento diferente de LST a lo largo del año para áreas urbanas y rurales y su relación con la cobertura vegetal bajo el AMV, donde ha sido seleccionado 3 puntos con diferentes coberturas de superficie para el presente

estudio. La Figura 1a muestra la localización rural (R) (20.21 °S, 40.45 °W), Urbano (U) (40.31 °S, 20.29 °W) y frontera (B) (20.26 °S, 40.40 °W)

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 [20].

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 [21]. 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 [22]. 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 [23].

. 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 [24]. (Figura 1b.)

C. Estimación de la ICUS

Para determinar la ICUS se utilizó el Método Gaussiano [19], y el método de cuantiles [18], 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) [19].

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

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

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 [18] 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.

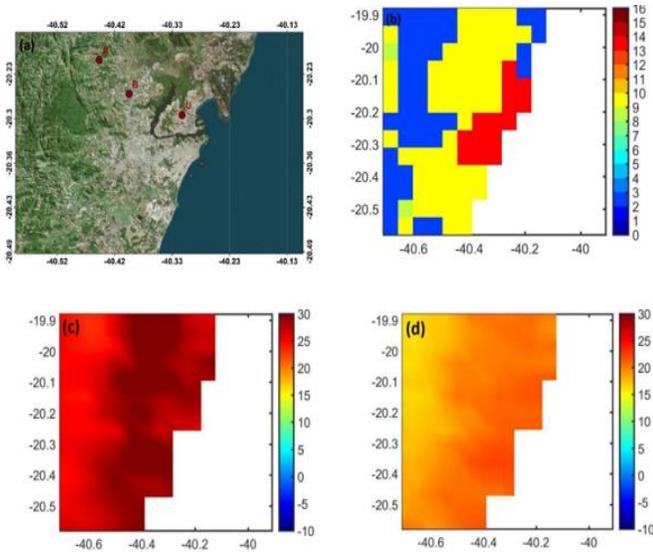


Fig. 1 (a) El dominio de la AMGV (b) Tipo de cobertura de suelo del AMV para diciembre del 2006 acorde al IGBP (c) media mensual de LST durante el día y (d) periodo nocturno en diciembre 2001. Imagen satelital muestra la localización rural (R) (20.21 S, 40.45 W), Urbano (U) (40.31 S, 20.29 W) y frontera (B) (20.26 S, 40.40 W)

III. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados para las magnitudes ICUS diurnas a largo plazo (2001-2020) y las extensiones espaciales para todos los meses sobre el AMGV usando el método de Streutker, se presentan en la Tabla 1. La intensidad ICUS más alta para el periodo diurno ocurrió en abril ($0.66 \text{ }^\circ\text{C}$) y se observó la intensidad ICUS más baja en octubre ($-2.3 \text{ }^\circ\text{C}$).

La figura 2a muestra el diagrama de dispersión entre ambos métodos por todos los meses. La pendiente de la línea recta que se ajusta a los datos es igual a 0.22, la intersección es igual a -1.85 y el índice de correlación es igual a 0.004. Este

comportamiento se puede observar en la figura 3a, que muestra la comparación entre la evolución del tiempo de las intensidades de ICUS con las desviaciones estándar utilizando Streutker y método cuantiles. Asimismo, en la figura 2b para el periodo nocturno, la pendiente de la línea recta que se ajusta a los datos es igual a -0.05, la intersección es igual a -0.26 y el índice de correlación es igual a 0.0001 y en la figura 3b se compara entre la evolución del tiempo de las intensidades de ICUS nocturno con las desviaciones estándar utilizando Streutker y método cuantiles. Asimismo en la figura 3c indica la evolución mensual de la ICUS mediante el método de Streutker y cuantiles durante el periodo 2001 al 2020 donde muestra la estacionalidad de la ICUS.

Se observa que la intensidad de ICUS diurna y nocturna es mayor para el AMGV en los meses de verano (diciembre-febrero) y ligeramente inferior en los meses de mayo-agosto.

Para el AMGV, los resultados que utilizan el método estadístico de cuantiles en periodos diurnos son que se muestra en la Tabla 1. Intensidades de ICUS diurnas obtenido con la ecuación 2, muestra los valores máximos en diciembre ($4.47 \text{ }^\circ\text{C}$) y valores mínimos en julio ($3.22 \text{ }^\circ\text{C}$).

Durante el periodo nocturno, los resultados usando el método estadístico de cuantiles en los periodos nocturnos se muestra en la tabla 1, las Intensidades de ICUS nocturnas obtenidas con el Ecuación 2, presente valores máximos en noviembre ($3.15 \text{ }^\circ\text{C}$) y valores mínimos en agosto ($2.52 \text{ }^\circ\text{C}$).

Cabe señalar que los valores negativos obtenidos con el método Streutker es debido a la presencia de isla de frio urbano, que sea producto al enfriamiento de la temperatura de aire debido a la brisa marítima; es por ello que el AMGV no presenta una superficie Gaussiana y lo recomendable es utilizar el método cuantil

TABLA I

MEDIA DIURNA Y NOCTURNA DE LA ICUS Y EXTENSIÓN ESPACIAL CON DESVIACIÓN ESTÁNDAR PARA EL AMGV USANDO EL MÉTODO DESARROLLADO POR STREUTKER (2002) Y FLORES (2016) DEL PERIODO 2001-2020.

MESES	UHI STREUTKER DIURNO	UHI CUANTIL DIURNO	UHI CUANTIL NOCTURNO
ENERO	-0.95 ± 2.75	4.33 ± 0.88	2.59 ± 0.44
FEBRERO	-1.31 ± 3.42	4.32 ± 0.80	2.74 ± 0.61
MARZO	-1.16 ± 2.30	4.05 ± 0.85	2.62 ± 0.53
ABRIL	0.66 ± 1.69	4.06 ± 0.73	2.68 ± 0.60
MAYO	0.29 ± 1.93	3.94 ± 0.64	2.71 ± 0.42
JUNIO	-0.84 ± 2.54	3.35 ± 0.77	2.59 ± 0.60
JULIO	-1.79 ± 2.72	3.22 ± 0.57	2.61 ± 0.58
AGOSTO	-0.02 ± 3.25	3.84 ± 0.73	2.52 ± 0.53
SETIEMBRE	-0.69 ± 2.42	4.14 ± 0.82	2.87 ± 0.38
OCTUBRE	-2.3 ± 2.59	4.18 ± 0.63	3.08 ± 0.72
NOVIEMBRE	-2.24 ± 2.47	4.28 ± 0.71	3.15 ± 1.03
DICIEMBRE	-1.45 ± 2.83	4.47 ± 0.84	2.97 ± 0.75

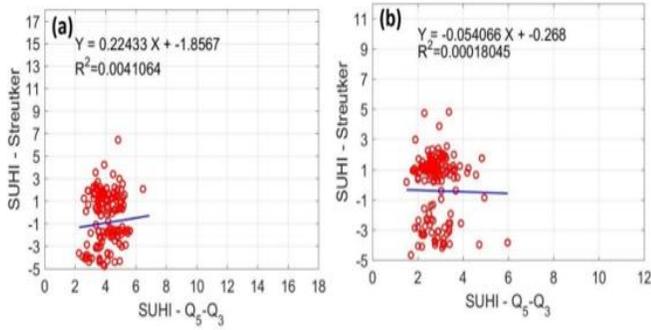


Fig. 2 Scatterplot del ICUS en periodos diurno, obtenido con el método de Streutker's vs ICUS con la diferencia de cuantiles $Q_5^{urban} - Q_3^{rural}$ para la AMGV, (b) periodo nocturno.

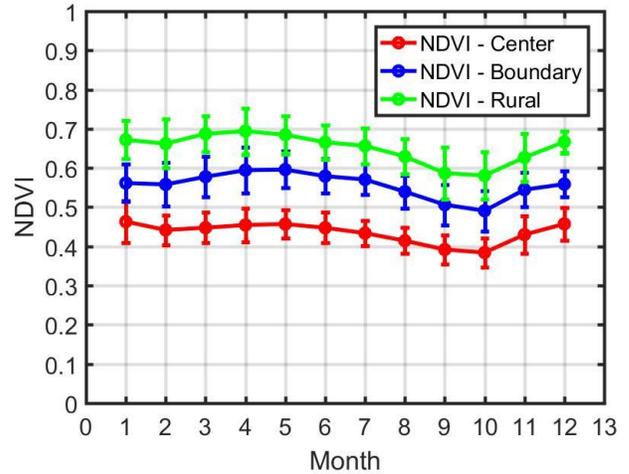


Fig. 4 Variación mensual de NDVI durante 2001-2020

En la fig. 5 y 6 se muestra la variación mensual de temperatura diurna y nocturna; indicando valores mayores del centro urbano respecto al rural. Cabe señalar el valor máximo de temperatura diurna en la zona urbana y rural es 31 y $29^{\circ}C$ respectivamente. Asimismo el valor máximo de temperatura nocturna en la zona urbana y rural es 23 y $22^{\circ}C$ respectivamente

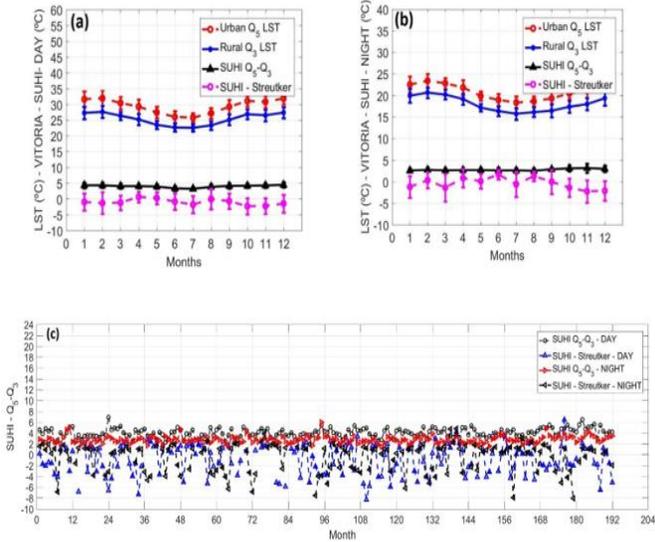


Fig. 3 (a) Evolución temporal de 2001-2020, media mensual diurna LST (°C) con desviación estándar para periodo diurno de LST urbano (Q_5) rural LST (Q_3), intensidad de la ICUS ($^{\circ}C$) para la AMGV, (b) periodo nocturno (c) Evolución mensual de la ICUS mediante el método de Streutker y cuantiles

En la fig. 4 se visualiza la variación mensual del índice de vegetación normalizada (NDVI) mostrando valores de 0.4 a 0.5 en el centro urbano, 0.5 a 0.6 en la frontera y 0.6 a 0.7 en la zona rural. Lo que indica que en la zona rural del AMGV presenta mayor vegetación o cobertura vegetal con respecto al centro urbano.

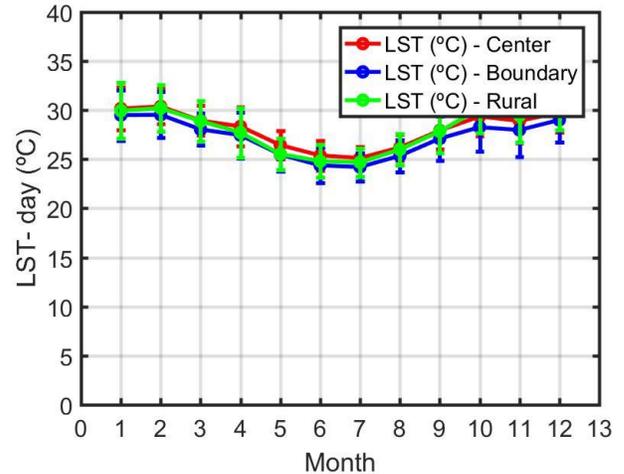


Fig. 5 Variación mensual de temperature diurna durante 2001-2020

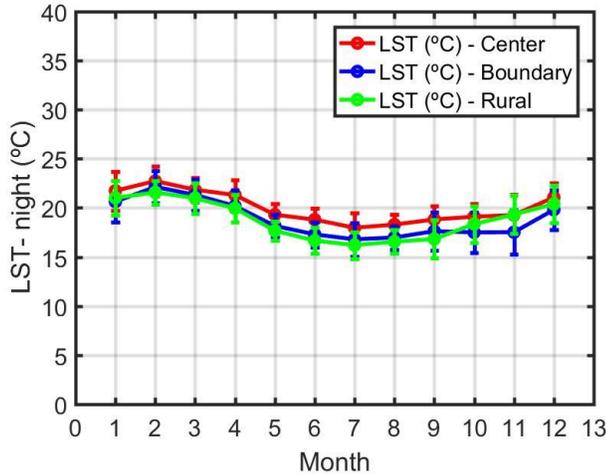


Fig. 6 Variación mensual de temperature nocturna durante 2001-2020

IV. CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis presentadas en este documento, se concluyó:

Para el AMG, en los periodos diurnos, la ICUS máximo ocurrió en diciembre (4.47 °C) y mínimo en julio (3.22 °C). En el periodo nocturno, la ICUS máximo se produjo en noviembre (3.15 °C) y mínimo en agosto (2.52 °C) utilizando el método de Cuantiles.

Para los periodos diurnos, la pendiente de la línea recta que se ajusta a los datos es igual a 0.22, la intersección es igual a -1.85 y el índice de correlación es igual a 0.004. En los periodos nocturnos, la pendiente de la línea recta que se ajusta a los datos es igual a -0.05, la intersección es igual a -0.26 y el índice de correlación es igual a 0.0001. Las principales causas que generan estas diferencias entre ambos metodos pueden ser las siguientes: (1) El patrón de LST sobre el área rural no encaja bien en un plano recto porque el pixel está cercano al rio Santa Maria y frontera con el mar (2) El patrón de LST sobre el área urbana del AMG no tiene una forma elipsoidal debido a que hacen frontera con el rio Santa Maria y por lo tanto, un ajuste Gaussiano normal, con solo un pico, no es adecuado. En general, el método de cantiles puede ser útil como un análisis complementario del método Streutker para ciudades con más de un centro de temperatura superficial máxima.

Señalar que es importante proponer medidas de mitigación en las ciudades que se urbanizan rápidamente en todo el mundo; como propuestas de construcción ecológicamente sostenibles; sin embargo, esfuerzos de mitigación adecuados disminuirán los efectos sobre el medio ambiente, así como sobre la seguridad y la salud de los habitantes.

Tambien que la infraestructura y los materiales de construcción, así como la ecologización del entorno construido, son cruciales en la gestión de la isla de calor urbano [26].

AGRADECIMIENTOS

Los conjuntos de datos de la temperatura superficial se obtuvieron de la NASA desde su sitio web en: <http://modis.gsfc.nasa.gov/>

REFERENCIAS

- [1] United Nations, "World urbanization prospects - population division." *United Nations*. 2019.
- [2] United Nations, "World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, United Nations Department of Economic and Social Affairs/Population Division.," *New York, NY, USA*, 2014.
- [3] S. A. Changnon, "Urban Effects on Severe Local Storms at St. Louis," *J. Appl. Meteorol.*, vol. 17, no. 5, 1978, doi: 10.1175/1520-0450(1978)017<0578:ueosls>2.0.co;2.
- [4] A. Lemonsu, R. Kounkou-Arnaud, J. Desplat, J. L. Salagnac, and V. Masson, "Evolution of the Parisian urban climate under a global changing climate," *Clim. Change*, vol. 116, no. 3–4, 2013, doi: 10.1007/s10584-012-0521-6.
- [5] V. Mishra, A. R. Ganguly, B. Nijssen, and D. P. Lettenmaier, "Changes in observed climate extremes in global urban areas," *Environ. Res. Lett.*, 2015, doi: 10.1088/1748-9326/10/2/024005.
- [6] T. R. Oke, "City size and the urban heat island," *Atmos. Environ.*, vol. 7, no. 8, 1973, doi: 10.1016/0004-6981(73)90140-6.
- [7] A. Dimoudi, A. Kantzioura, S. Zoras, C. Pallas, and P. Kosmopoulos, "Investigation of urban microclimate parameters in an urban center," *Energy Build.*, vol. 64, 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.04.014.
- [8] T. E. Pareze, J. Li, J. B. Campbell, and D. Carroll, "Assessing urban landscape variables' contributions to microclimates," *Adv. Meteorol.*, vol. 2016, 2016, doi: 10.1155/2016/8736263.
- [9] Z. R. Werbin *et al.*, "A tree-planting decision support tool for urban heat mitigation," *PLoS One*, vol. 15, no. 10 October, 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0224959.
- [10] K. Wang, Y. D. Aktas, J. Stocker, D. Carruthers, J. Hunt, and L. Malki-Epshtein, "Urban heat island modelling of a tropical city: Case of kuala lumpur," *Geosci. Lett.*, vol. 6, no. 1, 2019, doi: 10.1186/s40562-019-0134-2.
- [11] G. N. Yuan *et al.*, "A review on urban agriculture: technology, socio-economy, and policy," *Heliyon*, vol. 8, no. 11. 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e11583.
- [12] EPA, "Heat Island Cooling Strategies," *Environ. Prot. Agency US*, 2021.
- [13] E. Oikonomou, R. Raslan, A. Dennett, J. Taylor, P. Symonds, and A. Mavrogianni, "Mapping climate disadvantage for care provision in London, UK: a sociospatial heat vulnerability assessment," *Lancet*, vol. 392, 2018, doi: 10.1016/s0140-6736(18)32049-x.
- [14] M. Shafique, X. Xue, and X. Luo, "An overview of carbon sequestration of green roofs in urban areas," *Urban Forestry and Urban Greening*, vol. 47. 2020, doi: 10.1016/j.ufug.2019.126515.
- [15] G. Evola *et al.*, "UHI effects and strategies to improve outdoor thermal comfort in dense and old neighbourhoods," in *Energy Procedia*, 2017, vol. 134, doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.589.
- [16] G. B. Cavadini and L. M. Cook, "Green and cool roof choices integrated into rooftop solar energy modelling," *Appl. Energy*, vol. 296, 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.117082.
- [17] M. Zinzi and S. Agnoli, "Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region," in *Energy and Buildings*, 2012, vol. 55, doi:

- 10.1016/j.enbuild.2011.09.024.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Z. Wan, *MODIS land-surface temperature algorithm theoretical basis document (LST ATBD)*. Institute for Computational Earth System Science, Santa Barbara., no. April. 1999.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [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] A. M. M. Irfeey, H. W. Chau, M. M. F. Sumaiya, C. Y. Wai, N. Muttill, and E. Jamei, "Sustainable Mitigation Strategies for Urban Heat Island Effects in Urban Areas," *Sustain.*, vol. 15, no. 14, 2023, doi: 10.3390/su151410767.