

Islas de calor urbano en el municipio de Santa Cruz de Lorica, Colombia, entre los años 2001, 2007 y 2021, caso de aplicación con imágenes satelitales ASTER

Urban heat islands in the municipality of Santa Cruz de Lorica, Colombia, between the years 2001, 2007 and 2021, application case with ASTER satellite images



Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 4 No. 1. Enero-Julio, 2023: 87-101

URL: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/>

DOI: <https://doi.org/10.56205/ret.4-1.5>

Recibido: 30/03/2023

Revisado: 30/04/2023

Aprobado: 12/06/2023

Andrés Felipe Del Toro Pérez

Estudiante de pregrado en Geografía

Facultad de Ciencias Básicas

Departamento de Geografía y Medio Ambiente

Universidad de Córdoba

adeltoroperez21@correo.unicordoba.edu.co

<https://orcid.org/0009-0005-9419-9077>

Colombia

Libia Liliana Julio Galvis

Doctora en química

Docente de la Corporación Universitaria Remington – Seccional Montería

libia.julio@uniremington.edu.co

<https://orcid.org/0000-0003-4213-1271>

Colombia

Pedro Luis Payares Ramos

Ingeniero Sanitario y Ambiental

Environment and Technology Foundation

etf_@environmenttechnologyfoundation.org

<https://orcid.org/0000-0003-4564-7118>

Colombia

Hugo Alberto Villadiego Martinez

Ingeniero Sanitario y Ambiental

Resumen

Las islas de calor urbana son un fenómeno global que impacta principalmente a los espacios urbanos, concentrando altas temperaturas en zonas muy específicas de las ciudades donde hay mayor presencia de edificaciones y calles construidas con materiales altamente absorbentes de la radiación y que convierten esa energía en calor superficial. Este fenómeno es medible y cuantificable por medio del uso de imágenes satelitales como las ASTER, de Terra nivel 1 de precisión del terreno corregido y radiancia registrada en el sensor, equipadas con una serie de bandas termales de 90 m de resolución espacial. Preprocesando y procesando estas imágenes satelitales por medio de softwares como QGIS y ArcMAP se puede determinar la temperatura superficial terrestre a través del algoritmo SCP de QGIS. Lo anterior permitió concluir que las islas de calor urbana en el casco urbano del municipio de Santa Cruz de Lorica han aumentado en temperatura y en porcentaje de ocupación en la superficie, para los años 2001, 2007 y 2021.

Palabras claves: Cambio climático, temperatura superficial terrestre, espacios urbanos.

Abstract

Urban heat islands are a global phenomenon that mainly affects urban spaces, concentrating high temperatures in very specific areas of cities where there is a greater presence of buildings and streets built with materials that highly adsorb radiation and convert that energy into superficial heat. This phenomenon is measurable and quantifiable through the use of satellite images such as Terra's ASTER Level 1 accuracy of the corrected terrain and radiance recorded in the sensor, equipped with a series of thermal bands of 90 m spatial resolution. By preprocessing and processing these satellite images using software such as QGIS and ArcMAP, the Earth's surface temperature can be determined through the QGIS SCP algorithm as implemented in this work. Finally, the above led to the conclusion that the urban heat islands in the urban area of the municipality of Santa Cruz de Lorica have been



increasing over the years both in degrees Celsius and in surface area, specifically between the time period of the years 2001, 2007 and 2021.

Keywords: Climate change, land surface temperature, urban spaces.

Introducción

El cambio climático es considerado un fenómeno antropogénico producto de las actividades industriales humanas que originan emisiones de gases de efecto invernadero como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) ozono (O₃), óxido nitroso (N₂O) y clorofluorocarbonos (Huang & Lu, 2015a). Dichas emisiones desencadenan diversos cambios fisicoquímicos en el aire, la tierra y el mar (He & Silliman, 2019; Pörtner et al., 2022). Su impacto es un riesgo para la vida y subsistencia de las personas, lo que genera una amenaza para el desarrollo sostenible y los esfuerzos mundiales para mantener el estado natural del planeta (Rising et al., 2022).

El rápido desarrollo urbano y el crecimiento demográfico, en la mayoría de las naciones que están en vías de desarrollo, viene acompañado con cambios en el uso y la cobertura del suelo, lo que genera variaciones en el clima local alterando el balance energético y el agua superficial (Guo et al., 2022; Ren et al., 2023; Swamy et al., 2017; Ulpiani, 2021; Yang et al., 2019; Zhou & Chen, 2018). Como consecuencia de estas transformaciones la temperatura de la superficie terrestre (LST) en las zonas urbanas incrementa, dando lugar al fenómeno denominado isla de calor urbana (UHI) (Dutta et al., 2019; Shahfahad et al., 2020).

La Isla de Calor Urbana (UHI) impactan a millones de personas a nivel global y generan necesidades energéticas que refuerzan el calentamiento en áreas urbanas, generando consecuencias ambientales y para la salud y el bienestar de las personas, al afectar el medio ambiente circundante y los ecosistemas naturales y sociales (Hong et al., 2019; Huang & Lu, 2015b; Mohajerani et al., 2017; Yang et al., 2019).

Lograr comprender la dinámica temporal de la isla de calor urbano contribuirá a una planificación urbana sostenible que impactará en los niveles de temperatura atmosférica dentro y alrededor de las áreas urbanas (Hong et al., 2019).



En tal sentido este artículo tiene como propósito identificar las islas de calor urbano en el municipio de Santa Cruz de Lorica, Córdoba, Colombia, mediante el uso de imágenes satelitales ASTER y mediante el análisis estadístico de la dinámica multitemporal de las islas de calor urbanas respecto al área que ocupan entre los años de 2001, 2007 y 2021.

Metodología

Área de estudio

El casco urbano de Santa Cruz De Lorica se encuentra ubicado hacia la zona nororiental del municipio de Lorica, al norte del departamento de Córdoba, Colombia. Específicamente en las coordenadas geográficas 9° 14' 23.01" N y 75° 49' 03.23" O, en el margen derecho del río Sinú, sobre el noroccidente del complejo cenagoso del Bajo Sinú (**Figura 1**), limitando con los municipios de San Antero y San Bernardo del Viento al norte, al sur con los municipios de Cotorra y San Pelayo, al occidente con el municipio de Moñitos y al oriente con los municipios de Purísima, Momil y Chimá. El clima en general del municipio es semiseco, con una humedad relativa de más del 80%, las precipitaciones medias multianual comprenden cantidades de más o menos 1350 mm y la temperatura promedio ambiente en la zona es aproximadamente 27.6° C (Salazar-Mejía, 2011). El municipio de Santa Cruz de Lorica cuenta con una población total de 98,491 personas censadas en el Censo Nacional de Población y Vivienda llevado a cabo por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en el año 2018. Del anterior total, la población se distribuye entre cabecera municipal (49,577) y zonas rurales (48,914) (DANE, 2019).

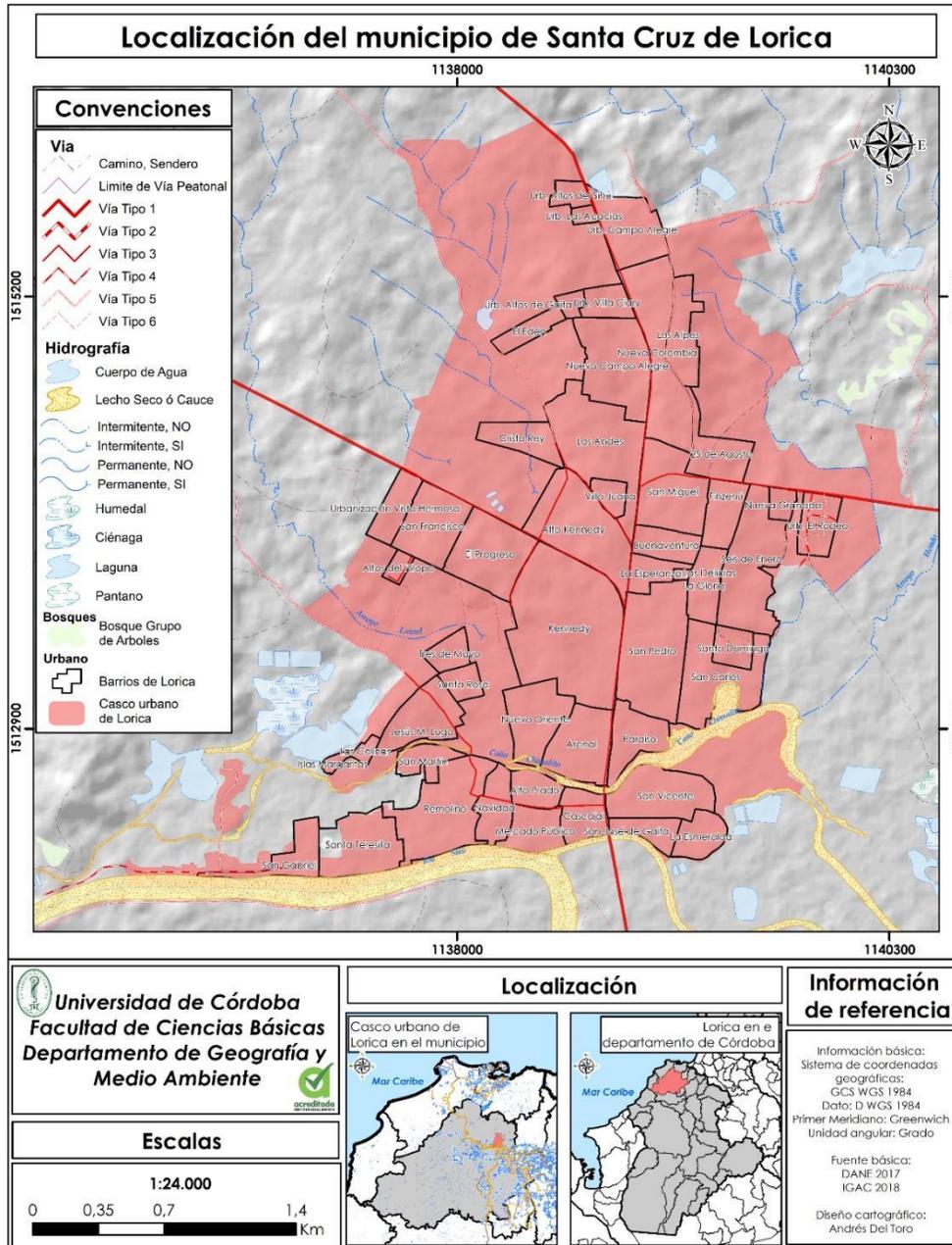


Figura 1. Mapa de localización del casco urbano de Santa Cruz de Lórica. Fuente: Elaboración propia con datos del DANE 2017 e IGAC, 2019. Nota: la figura muestra la localización del Casco urbano en el municipio de Santa Cruz de Lórica y en el departamento de Córdoba.

Para el desarrollo de esta investigación, se efectuó una revisión y selección de fuentes secundarias, considerando a la vez un enfoque inductivo de aspectos cualitativos y cuantitativos (Abreu, 2014). Con los que se pudo comprender los factores físicos que influyen

en el comportamiento de la variable, la extensión que el fenómeno de las islas de calor urbano abarca en la zona de estudio y la evolución ha tenido a lo largo del tiempo.

Los resultados fueron obtenidos a partir de imágenes satelitales ASTER de Terra Nivel 1 de precisión del terreno corregido y radiancia registrada en el sensor, corregidas geométrica y topográficamente, del portal de United States Geological Survey (USGS - Earth Explorer) correspondientes a los años 2001, 2007 y 2021 del casco urbano de Santa Cruz de Lorica (**Tabla 1**). Dichas imágenes corresponden a los meses entre diciembre y marzo, debido a que están registrados como los meses en los que se desarrolla la temporada seca en Colombia (IDEAM, 2012).

Tabla 1.

Identificación y fecha de adquisición de las imágenes ASTER

Nombre de las imágenes	Fecha de adquisición
AST_L1T_00302042001155314_20150414171527_17577	4/02/2001
AST_L1T_00301132007153503_20150517202307_20875	13/01/2007
AST_L1T_00303242021153346_20220320134807_15560	24/03/2021

Fuente: Elaboración propia con datos USGS. Nota: la tabla muestra el nombre de las imágenes satelitales ASTER utilizadas y su fecha de adquisición sobre el área de estudio.

Posteriormente, las imágenes fueron preprocesadas en el software de licencia libre QGIS, a través del módulo de SCP para convertir la información de la radiancia calibrada en las bandas termales (para este caso se implementó la banda 11 de 90 m de resolución espacial) de cada imagen a información térmica, teniendo así la capacidad de realizar la conversión de Niveles Digitales (DN) a Temperatura de Brillo (TB) en el satélite y a la vez realizar un cálculo de estos mismos, por medio de la fórmula que propone Congedo (2021):

$$T_B = \frac{K_2}{\ln \left[\left(\frac{K_1}{L_\lambda} \right) + 1 \right]}$$

Donde:

K_1 = Constante de conversión térmica específica de la banda (en vatios/metro cuadrado * ster * μm).

K_2 = Constante de conversión térmica específica de la banda (en kelvin).

L_λ es la radiación espectral en la apertura del sensor, medida en vatios/ (metro cuadrado * ster * μm).

Para ASTER, K_1 y K_2 , las constantes de los sensores Landsat se proporcionan en la **Tabla 2**.

Tabla 2.

Constantes de conversión térmica para ASTER

Constante	Banda 10	Banda 11	Banda 12	Banda 13	Banda 14
K_1	3.024*1033. 024*103	2.460*1032.460 *103	1.909*1031.909 *103	8.900*1028.900 *102	6.464*1026.464 *102
K_2	1.733*1031. 733*103	1.663*1031.663 *103	1.581*1031.581 *103	1.357*1031.357 *103	1.273*103

Fuente: elaboración propia con datos de Congedo (2021). Nota: se muestran las constantes de conversión térmica para las bandas termales de ASTER.

En simultáneo, la temperatura superficial terrestre se estima por medio de la temperatura de brillo en el satélite, como lo propone Weng et al. (2004):

$$T = \frac{T_B}{\left[1 + \left(\lambda * \frac{T_B}{c_2}\right) * \ln(e)\right]}$$

Donde:

λ = longitud de onda de la radiación emitida.

$c_2 = h * c / s = 1.4388 * 10^{-2} \text{ mK}$

h = constante de Planck = $6.626 * 10^{-34} \text{ Js}$

s = Constante de Boltzmann = $1.38 * 10^{-23} \text{ J/K}$

c = velocidad de la luz = $2.998 * 10^8 \text{ EM}$

Finalmente, a través del software ArcMAP (ArcGIS 10.8) se hizo la reclasificación Raster, para convertir la información a formato shapefile en geometría polígono y poder así calcular las áreas en hectáreas (ha) de los distintos rangos de temperatura estudiadas, que fueron clasificadas a través del método de valores únicos con muchos campos. El esquema metodológico seguido en esta investigación se muestra en la **Figura 2**.

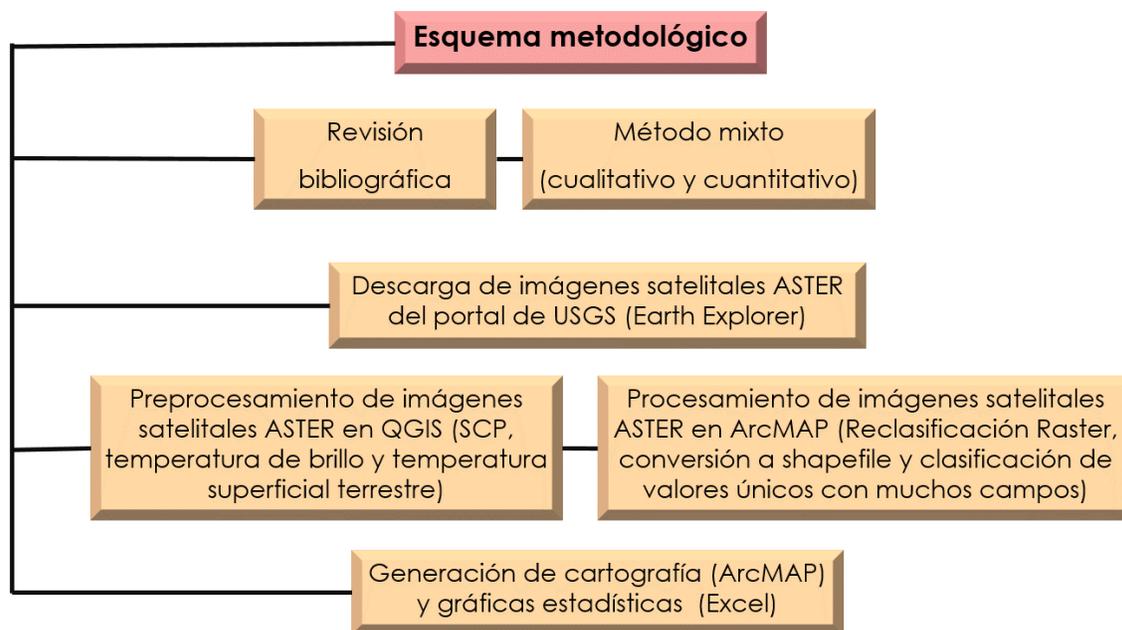


Figura 2. Esquema metodológico. Fuente: elaboración propia.

Resultados

Variación de la temperatura superficial terrestre

En esta investigación se obtuvieron resultados de la variabilidad térmica en la temperatura superficial terrestre en el casco urbano del municipio de Santa Cruz de Lorica entre los años de 2001, 2007 y 2021 para los meses de febrero, enero y marzo, respectivamente.

Tal como se puede apreciar en la **Figura 3**, en el año 2021, la mayoría de las áreas dentro de la zona de estudio presentaron temperaturas que oscilan entre 27.5° C y 35.5° C. Estas áreas son principalmente ocupadas por edificios y calles urbanas, que están construidas con materiales que tienen una alta capacidad de absorción de la radiación solar. Sin embargo,

existen algunas zonas en el nororiente y sur (extremos oriental y occidental) que registran temperaturas en el rango de 16.41° C a 27.49° C. Estas zonas están ligeramente cercanas a cuerpos de agua como el río Sinú y algunos estanques, pozos o lagunas de la Ciénaga Grande del Bajo Sinú.

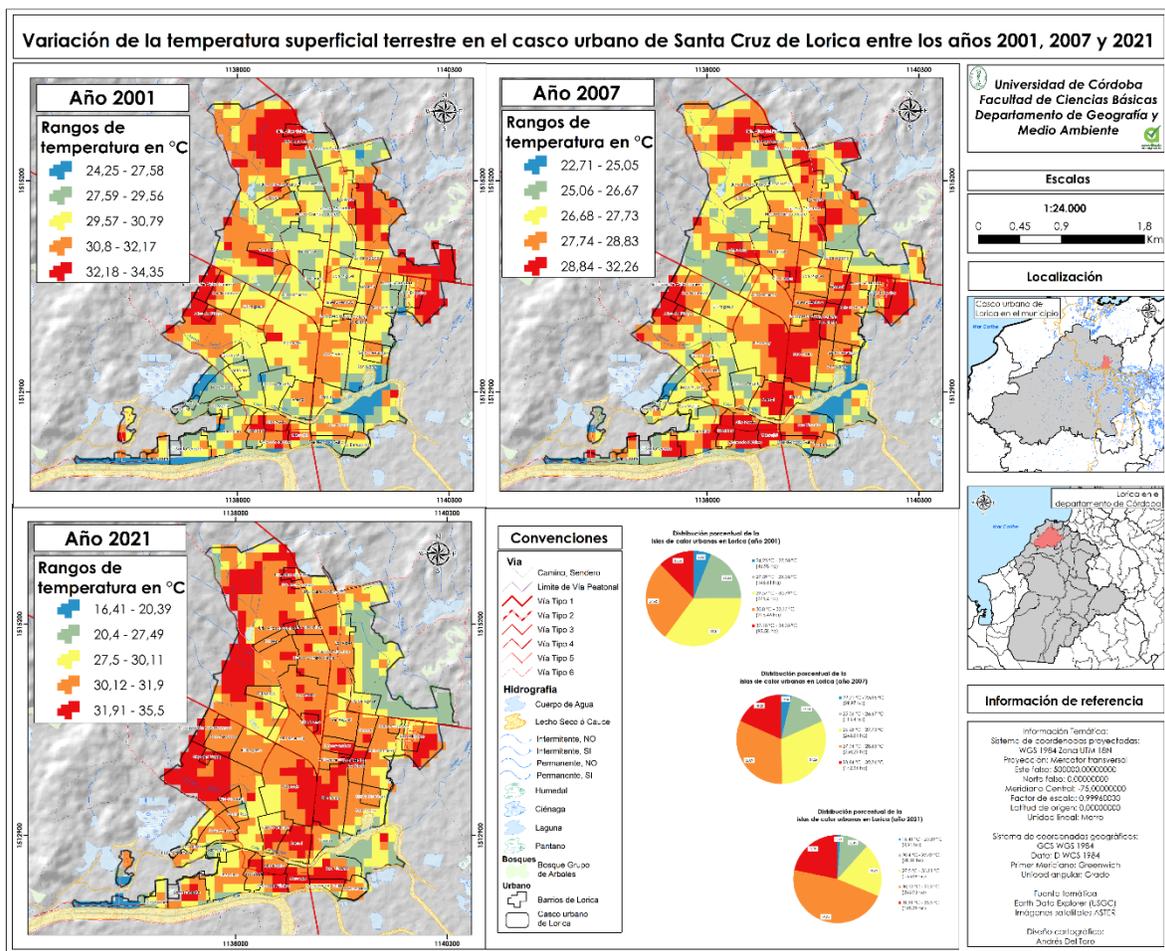


Figura 3. Mapa de la variación de la temperatura superficial terrestre en el casco urbano de Santa Cruz de Lorica entre los años 2001, 2007 y 2021, junto con las gráficas de tortas que indican los cambios en la ocupación de las áreas por cada rango de temperatura. Fuente: elaboración propia con datos derivados de los preprocesamientos y procesamientos de las imágenes satelitales ASTER.

En comparación con años anteriores, para el año 2007 se registraron temperaturas significativamente altas que oscilaron entre 26.68° C y 32.26° C en las áreas del suroriente y sur de la ciudad. Por su parte, en el año 2001 la concentración de los valores más altos fue



menor a la del año 2007, aunque con rangos de temperatura más altos en ese mismo año, pero más bajos en relación el año 2021, donde se obtuvieron temperaturas que oscilaron entre 29.57° C y 34.35° C sobre los extremos oriental, occidental y norte de la ciudad.

La disminución de la temperatura superficial terrestre entre 2001 y 2007 puede deberse a que la variable es muy sensible a los cambios del ambiente, dado que se trata del grado de calor de las cubiertas en el casco urbano de Santa Cruz de Lorica, de modo que para esa fecha (año 2007), durante la recolección de datos se presentaron fuertes vientos, precipitaciones o alta nubosidad, situación que pudo influir en la disminución de la temperatura.

Por otro lado, se destaca que los rangos de temperaturas representados en los colores amarillo y naranja fueron los que más ocuparon superficie en hectáreas a lo largo del periodo de tiempo estudiado, abarcando proporciones porcentuales del área total del municipio de 35.31% y 27.62% en el años 2001, para el año 2007 fueron del 31.26% y 32.09%, mientras que para los años 2021 las proporciones fueron del 19.63% y del 47.04%, lo anterior respectivamente a los rangos de temperaturas entre los colores amarillo y naranja. Para el caso de las temperaturas más altas y que conforman las islas de calor urbana en la ciudad, su porcentaje de ocupación en la superficie corresponde al 12.25% para el año 2001 y del 21.70% para el 2021, esto corresponde a un total de 199.29 hectáreas (**Figura 3**).

Ahora bien, de las anteriores observaciones se deriva el análisis multitemporal de las islas de calor urbana en la zona de estudio entre los años de 2001, 2007 y 2021 (**Figura 4**).

Es claro apreciar que se mantiene un patrón de concentración de las islas de calor urbana en el casco urbano del municipio de Santa Cruz de Lorica entre los años de 2001, 2007 y 2021 hacia la zona sur, occidental y norte, representando el color rojo los rangos de temperatura que demarcan las islas de calor urbana en el año 2021 y que en comparación con los otros años, pasaron a ocupar el 41.55% de la zona urbana.

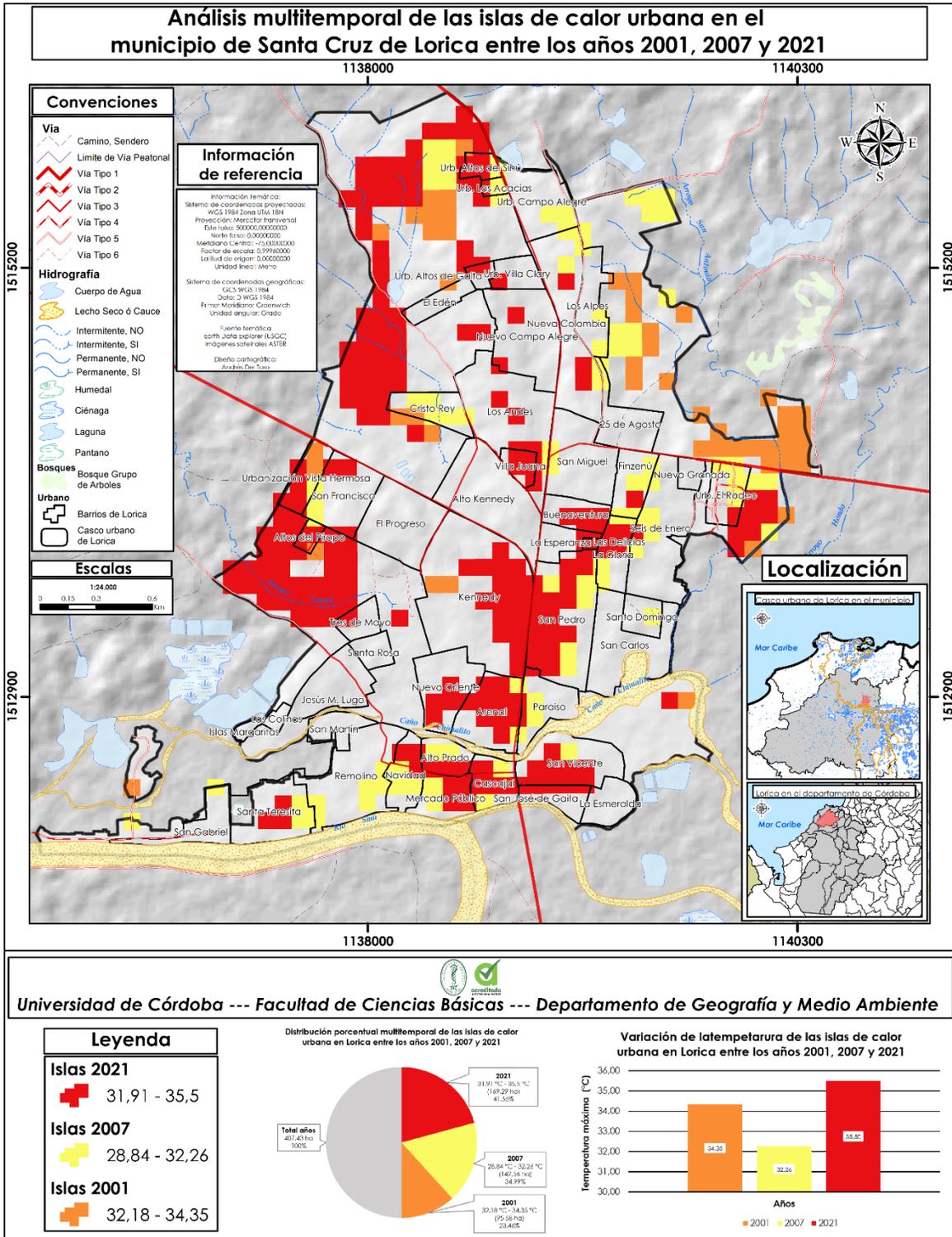


Figura 4. Análisis multitemporal de las islas de calor urbana en el casco urbano de Santa Cruz de Lorica entre los años 2001, 2007 y 2021, junto con la gráfica de ocupación del área



del municipio para cada rango de temperatura. Fuente: elaboración propia con datos derivados de los preprocesamientos y procesamientos de las imágenes satelitales ASTER.

Conclusiones

Partiendo del anterior análisis de resultados, se considera que el fenómeno de las islas de calor urbana en el casco urbano del municipio de Santa Cruz de Lorica ha tendido a incrementar tanto en superficie como en grado de calor, debido principalmente a que los materiales de construcción de las edificaciones y calles son grandes acaparadores de la energía solar. Las islas de calor urbana en la ciudad, para el año 2021, presentan un porcentaje de ocupación en la superficie de 199.29 hectáreas.

En virtud del análisis multitemporal se mantiene la concentración de las islas de calor urbana en el casco urbano del municipio de Santa Cruz de Lorica en los años 2001, 2007 y 2021 hacia la zona sur, occidental y norte. Esto indica que el entorno urbano al poseer edificaciones y el concreto tienen la capacidad de retener la radiación solar y aumentar la temperatura del aire, lo cual se aumenta si sumamos el calor emitido por el tráfico vehicular, aires acondicionados y la escasa vegetación en la ciudad.

Teniendo en cuenta el patrón climático actual a nivel mundial, se espera que las temperaturas y las islas de calor urbanas sigan en constante aumento, lo cual afectará de forma negativa la calidad de vida de los habitantes en todo el mundo.

Referencias

- Abreu, J. L. (2014). El Método de la Investigación. *International Journal of Good Conscience*, 9(3), 195-204. <http://www.spentamexico.org/v9-n3/A17.9%283%29195-204.pdf>
- Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, 6(64), 3172. <https://doi.org/10.21105/joss.03172>
- DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). (2019). Censo Nacional de Población y Vivienda (p. 1). Gobierno de Colombia. <https://sitios.dane.gov.co/cnpv/app/views/informacion/fichas/23417.pdf>
- Dutta, D., Rahman, A., Paul, S. K., & Kundu, A. (2019). Changing pattern of urban landscape and its effect on land surface temperature in and around Delhi. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(9), 551. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7645-3>
- Guo, L., Di, L., Zhang, C., Lin, L., Chen, F., & Molla, A. (2022). Evaluating contributions of urbanization and global climate change to urban land surface temperature change: A case study in Lagos, Nigeria. *Scientific Reports*, 12, 14168. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18193-w>
- He, Q., & Silliman, B. R. (2019). Climate Change, Human Impacts, and Coastal Ecosystems in the Anthropocene. *Current Biology*, 29(19), R1021-R1035. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.08.042>
- Hong, J.-W., Hong, J., Kwon, E. E., & Yoon, D. K. (2019). Temporal dynamics of urban heat island correlated with the socio-economic development over the past half-century in Seoul, Korea. *Environmental Pollution*, 254, 112934. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.102>
- Huang, Q., & Lu, Y. (2015a). The Effect of Urban Heat Island on Climate Warming in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration in China. *International Journal of*

- 
- Environmental Research and Public Health, 12(8), 8773-8789. <https://doi.org/10.3390/ijerph120808773>
- Huang, Q., & Lu, Y. (2015b). The Effect of Urban Heat Island on Climate Warming in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(8), 8773-8789. <https://doi.org/10.3390/ijerph120808773>
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). (2012). Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos (p. 10). IDEAM. <https://n9.cl/xdz9>
- Mohajerani, A., Bakaric, J., & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197, 522-538. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>
- Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Tignor, M. M. B., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A., & Rama, B. (Eds.). (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_Citation.pdf
- Ren, Y., Laforteza, R., Giannico, V., Sanesi, G., Zhang, X., & Xu, C. (2023). The unrelenting global expansion of the urban heat island over the last century. *Science of The Total Environment*, 880, 163276. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163276>
- Rising, J., Tedesco, M., Piontek, F., & Stainforth, D. A. (2022). The missing risks of climate change. *Nature*, 610, 643-651. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05243-6>
- Salazar-Mejía, I. (2011). La economía de la ciénaga Grande del Bajo Sinú: Lugar encantado de las aguas (P.p. 96-134). En: Aguilera-Díaz, M. (Ed.). *La economía de las ciénagas*



del Caribe colombiano. Colección de Economía Regional. Bogotá, Colombia: Banco de la República. <https://doi.org/10.32468/Ebook.664-245-3>

Shahfahad, Kumari, B., Tayyab, M., Ahmed, I. A., Baig, M. R. I., Khan, M. F., & Rahman, A. (2020). Longitudinal study of land surface temperature (LST) using mono-and split-window algorithms and its relationship with NDVI and NDBI over selected metro cities of India. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(19), 1040. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06068-1>

Swamy, G., Nagendra, S. M. S., & Schlink, U. (2017). Urban heat island (UHI) influence on secondary pollutant formation in a tropical humid environment. *Journal of the Air & Waste Management Association* (1995), 67(10), 1080-1091. <https://doi.org/10.1080/10962247.2017.1325417>

Ulpiani, G. (2021). On the linkage between urban heat island and urban pollution island: Three-decade literature review towards a conceptual framework. *The Science of the Total Environment*, 751, 141727. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141727>

Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467-483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>

Yang, C., Wang, R., Zhang, S., Ji, C., & Fu, X. (2019). Characterizing the Hourly Variation of Urban Heat Islands in a Snowy Climate City during Summer. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(14), 2467. <https://doi.org/10.3390/ijerph16142467>

Zhou, X., & Chen, H. (2018). Impact of urbanization-related land use land cover changes and urban morphology changes on the urban heat island phenomenon. *Science of The Total Environment*, 635, 1467-1476. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.091>