



ISLA DE CALOR Y SU INTENSIFICACIÓN EN LA VIVIENDA PERIFÉRICA DE MÉRIDA

HEAT ISLAND AND ITS INTENSIFICATION IN THE PERIPHERAL HOUSING OF MÉRIDA

Villanueva-Solís Jorge ¹ y Torres Pérez María Elena ²

DOI: <https://doi.org/10.47386/2023V1N3A1>

RESUMEN

Las temperaturas extremas y las olas de calor son fenómenos que desencadenan problemas considerables a la población y al medio ambiente, son los habitantes de las áreas urbanas los más vulnerables ante esta situación. Los impactos generados se identifican desde un aumento generalizado en la demanda de agua y energía, problemas de salud y mayor contaminación del aire. En este sentido, desde hace tiempo se reconoce la influencia que tienen las ciudades sobre su propio clima, el cual es típicamente más caliente que sus alrededores no urbanos, a este fenómeno se le denomina isla de calor urbana (ICU), y sus causas principales se deben a los procesos de urbanización. Una de las medidas de mitigación es el aumento de las áreas de vegetación intraurbana; éstas filtran las corrientes de viento, disminuyen la temperatura del aire a través de la evapotranspiración e, interceptan la radiación solar antes de ser absorbida por los materiales impermeables de la ciudad. Este trabajo explora la intensificación de la ICU en la ciudad de Mérida, Yucatán. Su objetivo es determinar el comportamiento térmico de las zonas habitacionales en la periferia de la ciudad y conurbación. Por una parte, los resultados obtenidos muestran la conveniencia de los métodos utilizados para caracterizar la problemática, por otra, revelan que los sectores habitacionales localizados en la periferia presentan patrones de temperaturas que oscilan entre los 47 y los 55 grados Celsius. Lo anterior refleja la necesidad de establecer políticas de uso del suelo y desarrollo de vivienda, coadyuvando al proceso de adaptación ante cambio climático.

Palabras clave: Isla de Calor Urbana, Expansión Urbana, Vivienda.

¹ Profesor Investigador, Escuela de Arquitectura Unidad Torreón, Universidad Autónoma de Coahuila, ORCID: 0000-0002-9778-9225, correo: jorge.villanueva@uadec.edu.mx

² Profesora Investigadora, Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Yucatán, ORCID: 0000-0001-8701-6627

ABSTRACT

Extreme temperatures and heat waves trigger considerable problems to the population and the environment, making the inhabitants of urban areas the most vulnerable to this situation. The impacts generated are identified from a general increase in the demand for water and energy, health problems and greater air pollution. In this sense, the influence that cities have on their own climate has long been recognized, which is typically hotter than its nonurban surroundings, this phenomenon is called Urban Heat Island (ICU), and its main causes are due to the urbanization process. One of the mitigation measures is the increase in intraurban vegetation areas; You are filtering the wind currents, decrease the air temperature through evapotranspiration and intercept solar radiation before being absorbed by the waterproof materials of the city. This work explores the intensification of the UHI in the city of Mérida, Yucatán. Its objective is to determine the thermal behavior of the housing areas on the periphery of the city and conurbation. On the one hand, the results obtained show the convenience of the methods used to characterize the problem, on the other, they reveal that the housing sectors located on the periphery have temperature patterns that range between 47 and 55 degrees Celsius. The above reflects the need to establish land use policies and housing development, contributing to the process of adaptation to climate change.

Keywords: Urban Heat Island, Urban Expansion, Housing.

Fechas importantes

Recibido: 22 febrero 2023

Aceptado: 9 agosto 2023

Publicado: 30 septiembre 2023

- Las opiniones vertidas en este artículo son de exclusiva responsabilidad de los autores y no representa el pensamiento ni las opiniones de la revista.
- El presente artículo ha sido dictaminado por pares bajo la modalidad de doble ciego, así como revisado el porcentaje de originalidad por Turnitin con un mínimo de 90%
- Los manuscritos publicados en esta Revista podrán ser producidos con fines académicos, citando la fuente y el autor.

Introducción

La ciudad de Mérida es reconocida por su patrimonio cultural y por ser una de las ciudades más seguras del país; sin embargo, también enfrenta retos importantes en temas urbanos, como una acentuada segregación socioespacial, problemas graves de movilidad, así como la contaminación de acuíferos por la falta de infraestructura para el tratamiento de agua, entre otros. La solución a estos retos urbanos no es fácil; y se vuelve aún más compleja si se consideran las tendencias de crecimiento de la población y de expansión de la ciudad. (CMM, 2014)

Actualmente, hay una tendencia global al crecimiento de las ciudades, principalmente, en los países en vías de desarrollo. La densificación de los espacios urbanos conlleva retos económicos y sociales, pero sobre todo ambientales.

Distintos estudios establecen que los procesos de expansión y urbanización de la ciudad modifican el clima local, uno de estos es la Isla de Calor Urbana (ICU), definida como la diferencia de temperatura entre el área urbana y sus alrededores. Es el resultado de dos procesos diferentes pero asociados; el primero y más importante, la modificación en la cobertura del suelo como resultado del proceso de urbanización que transforma las superficies con materiales impermeables como el asfalto y el concreto. La segunda, hace referencia a las actividades en la ciudad principalmente el transporte y la industria debido a las emisiones térmicas que contribuyen al calentamiento urbano (Oke, 2009). El tema es cada día más importante debido a la tendencia mundial hacia la urbanización y el crecimiento disperso de las ciudades, además porque la ICU tiene implicaciones directas en la calidad del aire, la salud pública, la gestión energética y en la planeación urbana (Yuanyuan et al., 2021; Heaviside et al., 2017; Magli et al., 2015; Pena *et al.*, 2021). Motivos por los cuales esta problemática se ha convertido en uno de los principales desafíos ambientales relacionados con el proceso de urbanización, dado que el aumento de la temperatura asociada a la ICU tiende a exacerbar los problemas antes mencionados (Tan, et al., 2010). Además de estar identificada en los temas centrales cuando se aborda el tema de la mitigación y adaptación ante el cambio climático desde un enfoque urbano.

En este sentido, el sexto informe de evaluación sobre el cambio climático del IPCC, indica que los riesgos asociados al cambio climático que enfrentan las personas en todas las ciudades han aumentado, asimismo, que los procesos de urbanización están incrementando la vulnerabilidad y exposición al combinarse con los riesgos del cambio climático, sobre todo, en ciudades y asentamientos donde la capacidad de adaptación es limitada (Dodman, *et al.*, 2022).

En la actualidad, la mayoría de los estudios sobre ICU han tenido lugar en ciudades densamente pobladas, ubicadas en climas templados y subtropicales (Arnfield, 2003). En términos generales, las investigaciones realizadas sobre el tema se han enfocado principalmente a la identificación y análisis del comportamiento térmico dentro de los espacios urbanos, así como al establecimiento de estrategias de mitigación.

Con relación a lo anterior, el presente trabajo explora a través del tejido urbano la intensificación de la ICU en la ciudad de Mérida. Su objetivo es determinar el comportamiento térmico de los sectores habitacionales en la periferia de la ciudad con respecto a su densidad de población.

La zona metropolitana de Mérida presenta un crecimiento alto, consecuentemente exhibe un alto grado de dinamismo espacial, expresado en el aumento de la superficie urbanizada, modernización de infraestructura y suburbanización. Estos cambios se traducen en términos ambientales en incremento de la contaminación de las aguas, aire y suelo; desarrollo de isla de calor y fragmentación de áreas verdes (Fregoso, *et al.*, 2013; Domínguez, 2011).

Mérida se ha convertido en la ciudad con mayor población del sureste de México, en la actualidad cuenta con 995,129 habitantes (INEGI, 2020a) que representan 16.5% más que la década anterior. Esta dinámica de población ha provocado un crecimiento de la ciudad hacia comunidades rurales y áreas naturales, proceso que según Carrillo-Niquete *et al.*, (2021) es del orden de 205.08 hectáreas anuales, esto es, en las dos décadas del siglo XXI la expansión de la ciudad y su urbanización ha provocado la pérdida de un poco más de cuatro mil cien hectáreas y sus servicios ambientales.

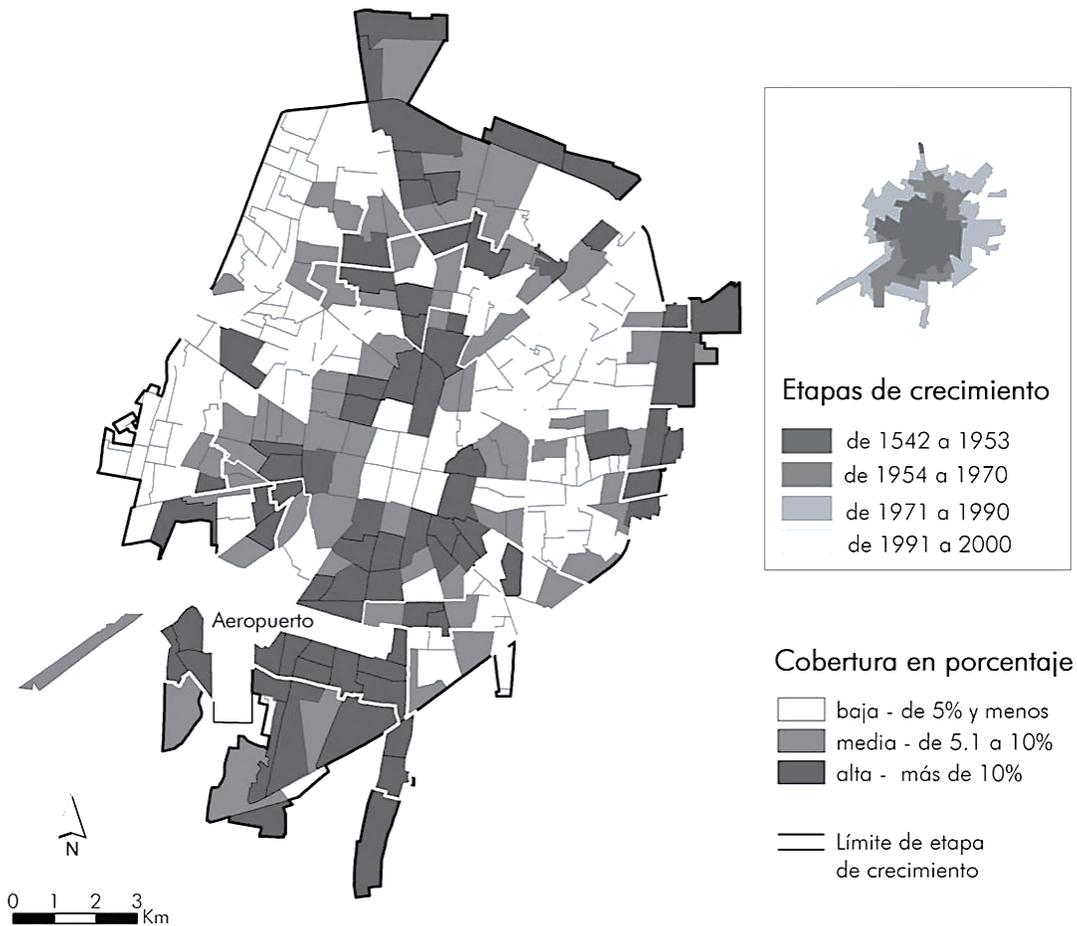
Con respecto a las condiciones climáticas, son cálidas, el más seco de los cálidos subhúmedos, con régimen de lluvias de verano y presencia de canícula –*este concepto hace referencia al periodo de aumento de la temperatura debido a un calentamiento excesivo del aire, cielos despejados y baja precipitación*—. Las temperaturas máximas suceden en abril y mayo en las que se rebasan los 40 °C, en mayo de 2008 llegó a 42.8 °C. En marzo, junio, julio, agosto y septiembre las temperaturas máximas fueron generalmente de 37 a 39 °C (UADY, 2013; Canto y Pérez, 2003). Con estos datos consideramos que sólo los meses de octubre a febrero son considerados agradables, con tendencia a cálidos. Sin embargo, en un estudio reciente Espadas, *et al.*, (2021) reportan una serie de anomalías en la temperatura promedio por década en el periodo de 1970 al 2020, estas anomalías argumentan los autores, constituyen las diferencias con respecto al clima previo y son un claro efecto del cambio climático.

Tejido urbano y vivienda

En cuanto a la configuración del tejido urbano y su vivienda (ver figura 1), el primer cuadro de la ciudad –la parte que corresponde desde la fundación de la ciudad hasta 1953– y, la franja perimetral que lo rodea, correspondiente al crecimiento entre 1953 y 1970, tienen similitudes en la traza urbana y su geometría, esta consiste en manzanas cuadradas de cien metros por lado, generando amplios lotes con patios interiores, en los cuales se puede identificar vegetación tipo arbórea. Es a partir de la década de 1970 que inicia la construcción masiva de vivienda en conjuntos habitacionales, las manzanas dejan de ser cuadradas para convertirse en rectangulares, reduciendo las dimensiones del lote y con ello la eliminación del patio interior arbolado (Pérez-Medina y López-Falfán, 2015).

En la actualidad, los sectores de vivienda media y residencial en serie se localizan en fraccionamientos al norte, oriente y poniente de la ciudad, mientras que, al sur se ubican los desarrollos de vivienda de interés social, así como las colonias populares. Esta construcción en serie de vivienda en las últimas décadas provocó un acelerado crecimiento hacia la periferia, traspasando los límites del anillo periférico y reforzando la conurbación con otras localidades con las que integra la zona metropolitana (Torres, 2020).

Figura 1. Etapas de crecimiento y cobertura de área verde



Fuente: Pérez-Medina, S. y López-Falfán, I. (2015).

Isla de calor urbana, antecedentes en Mérida

Un primer acercamiento al problema lo identifican Canto y Pérez (2003), al señalar que en Mérida existe una relación entre la antigüedad de las zonas de la ciudad con una menor densidad de construcción y una mayor vegetación, contrastando con la alta densidad de construcción y muy poca cantidad de vegetación en los fraccionamientos nuevos. En estos

últimos se atribuye que la escasa arborización se debe a las dimensiones de la vivienda con relación al resto del terreno, así como al ancho de las aceras que difícilmente permite la plantación de un árbol.

Los mismos autores hacen referencia a la relación de las áreas verdes y la ICU al mencionar los resultados arrojados por las diversas estaciones termoplumiométricas y el observatorio meteorológico se observa que las temperaturas tomadas en las zonas de reciente crecimiento habitacional, en el poniente de Mérida, presentan máximas de 34.3 °C y 35.1 °C, en las estaciones del CICY y Gerencia Regional, respectivamente. En tanto que las temperaturas máximas más bajas se localizan en el norte y en el centro: 33.0 °C y 33.3 °C, en las estaciones Emiliano Zapata y Mérida Centro, respectivamente, en aquellas zonas que presentan mayor arborización.

De esta manera, los autores destacan la diferencia entre las máximas temperaturas que llega a ser de 2.1 °C en las áreas de reciente asentamiento; más aún, hacen referencia al retardo térmico, es decir, cuando las temperaturas permanecen altas por más tiempo, y lo identifican en el centro de la ciudad y en la zona de sotavento, esta última localizada en el poniente, una zona con pocas áreas verdes.

Posteriormente García (2008) citado por Bolio e Iracheta (2011), elabora un mapa de isla de calor en el cual muestra un gradiente térmico general de 2.37 °C entre la zona centro y la periferia. Por su parte Reyes y Espadas (2016), mencionan que se identifican islas de calor en las que se registró una variación de más de 5 °C en comparación con las zonas que cuentan con vegetación. Recientemente Carrillo-Niquete, *et al.*, (2021) en su trabajo muestran la relación entre el aumento de temperatura y la pérdida de vegetación en la ciudad y sus alrededores, establecen un aumento de temperatura que oscila entre los 2.36 y los 3.94 °C en las zonas han perdido su cobertura vegetal.

Estos antecedentes sugieren que el proceso de urbanización experimentado en Mérida ha modificado de manera importante el clima local; por lo descrito por los autores, se puede inferir que los espacios urbanizados generan suficiente calor sensible para elevar la temperatura en su interior, y dado el reducido número de áreas verde favorece la distribución del calor almacenado en las diferentes estructuras de la ciudad, es decir, la causa de la ICU está relacionada con las alteraciones en el balance de energía superficial causado por la urbanización.

Método e información

El componente principal del marco metodológico propuesto se apoya en el uso y tratamiento digital de imágenes satelitales tipo *Landsat*, en particular la banda infrarroja y térmica de las imágenes *Landsat 8*, la cual proporciona información clara sobre la variación térmica permitiendo contar con información puntual y temporal de la cobertura del suelo y su comportamiento térmico al interior del espacio urbano. Así, los valores de temperatura

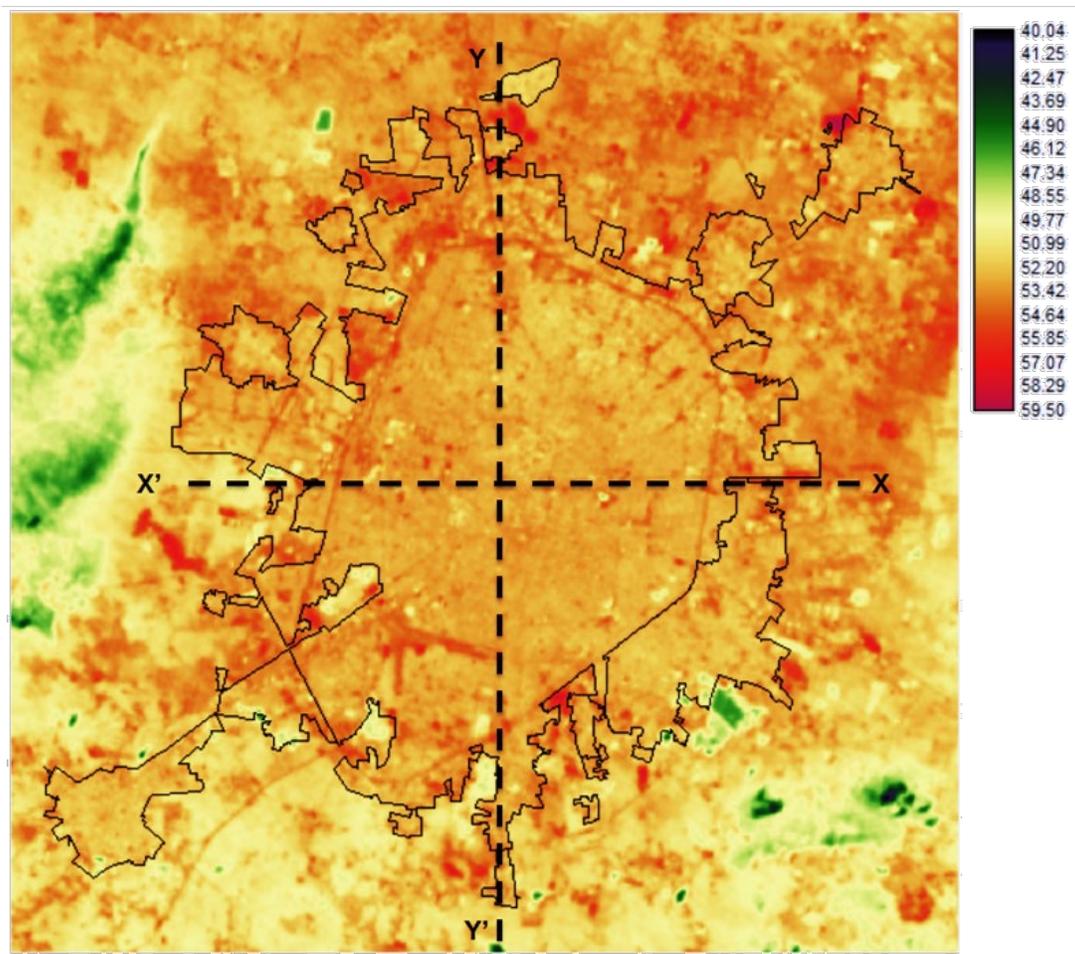
obtenidos de la banda infrarroja se utilizaron para establecer las características térmicas al interior de la ciudad y su distribución.

Isla de calor superficial

En la figura 2 se muestra la conformación de la ICU superficial obtenida a partir de una imagen *Landsat 8* actual, en ella se puede observar como el tejido urbano contrasta con los alrededores que aún dedican el suelo a las actividades agrícolas por las altas temperaturas de superficie, también se pueden identificar como algunos espacios verdes al interior de la ciudad representan importantes contrastes térmicos con el resto de la ciudad.

De manera general se pueden identificar dos rangos principales de temperaturas superficiales al interior de la ciudad, el primero que oscila entre los 47 y los 50 grados Celsius y el segundo que va desde los 50 a los 55 grados, esto es, una composición del tejido urbano homogénea que provoca una distribución de las altas temperaturas (ver Figura 2).

Figura 2. Conformación de la ICU superficial en Mérida, Yucatán

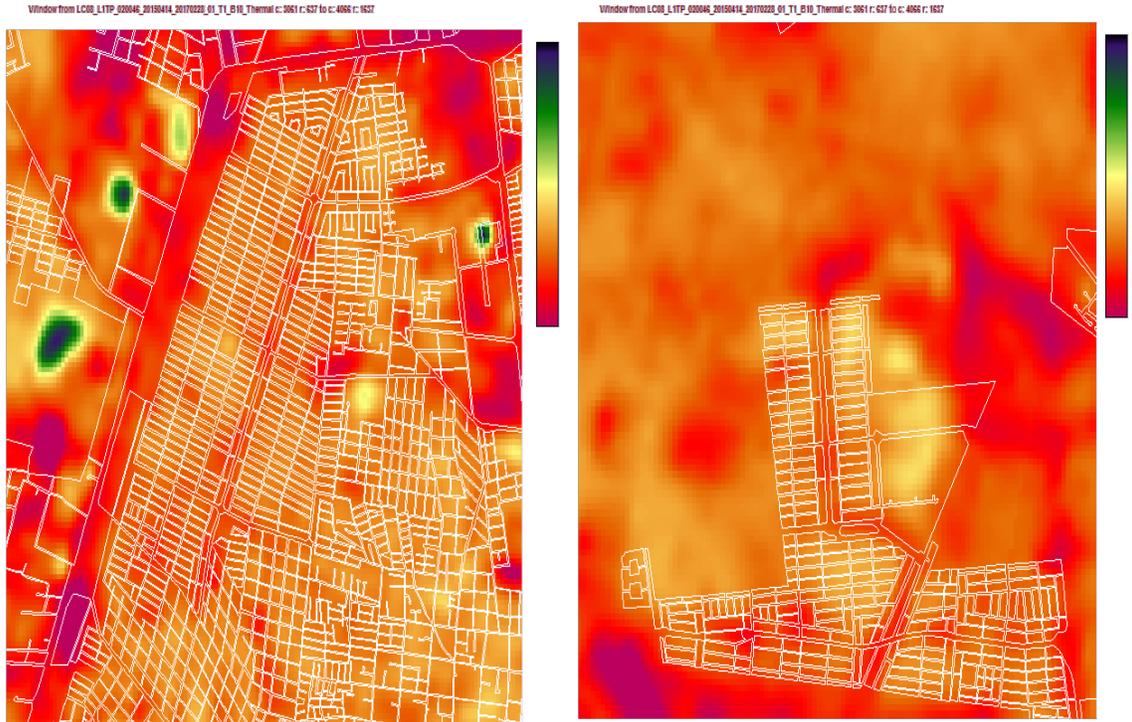


Fuente: Elaboración propia con imagen *Landsat 8*.

En cuanto al análisis del comportamiento térmico de las zonas habitacionales en la periferia de la ciudad y conurbación, en las figuras 3, 4 y 5 se muestra con mayor detalle la influencia de la urbanización sobre la temperatura. En la figura 3, se muestra la colonia Francisco Montejo en el mapa de la izquierda y el fraccionamiento Las Américas en el mapa de la derecha, ambas ubicadas al norte de la ciudad. En ambos casos, es posible identificar un patrón de altas temperaturas en las vialidades y áreas deforestadas. En particular en el mapa de la izquierda, se identifican algunas áreas de color verde-amarillo en las que existe cobertura vegetal, en las cuales la temperatura llega a disminuir hasta en 5 grados.

En cuanto a sus características de población y vivienda, en la colonia Francisco Montejo se localizan un total de 14,686 viviendas y una población de 38,299 habitantes, mientras que en el fraccionamiento las Américas se tiene un total de 13,144 viviendas y una población total de 27,651 habitantes (INEGI, 2020b).

Figura 3. Temperatura de superficie fraccionamientos al norte de la ciudad.

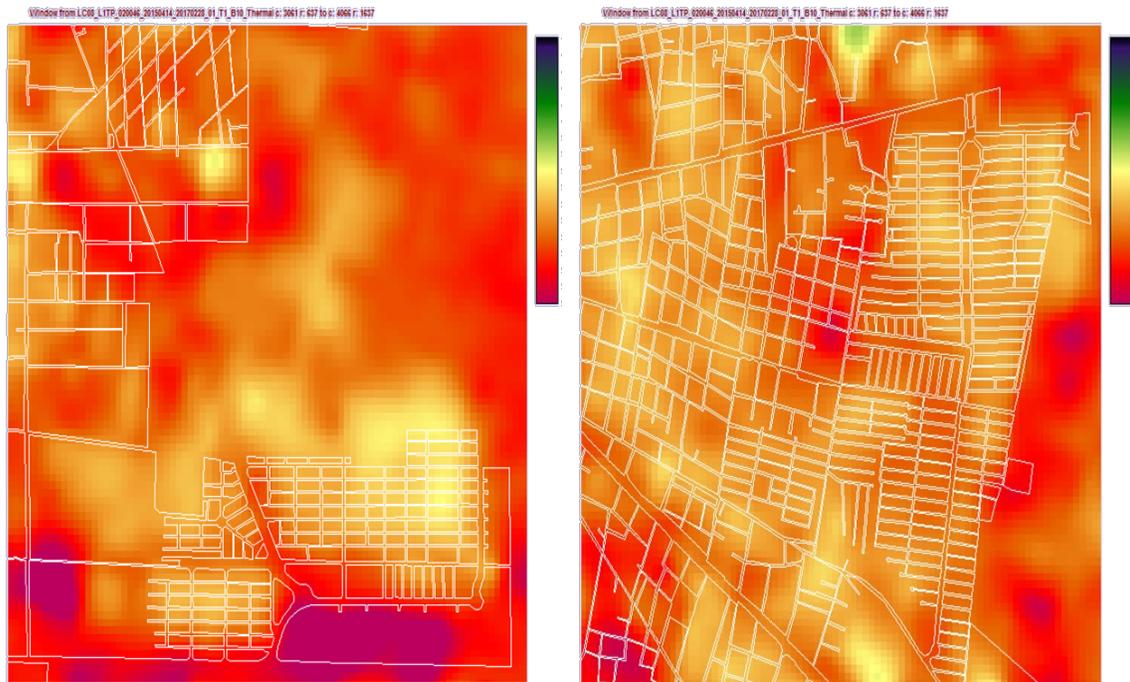


Fuente. Elaboración propia con imagen *Landsat 8*.

En la figura 4 que corresponden a secciones de ciudad Caucel al oriente de la ciudad, se puede observar una distribución de temperatura superficial muy homogénea y coincidente con la estructura urbana. Estas colonias del oriente de la ciudad presentan un rango de temperatura que va desde los 50 a los 55 grados. En este sector se localizan en total 40,294 viviendas y una población de 86,637 habitantes (INEGI, 2020b).

En cuanto a la figura 5 que comprende la colonia villas de oriente en el mapa de la izquierda y Los Héroes en el mapa de la derecha, ambas localizadas al poniente de la ciudad. En el mapa de la izquierda es posible identificar importantes contrastes térmicos seguramente relacionados con espacios importantes de cobertura vegetal que generan temperaturas hasta de más de 6 grados en comparación con lo urbanizado. En lo que respecta al mapa de la derecha, se observa una distribución homogénea de la temperatura de superficie.

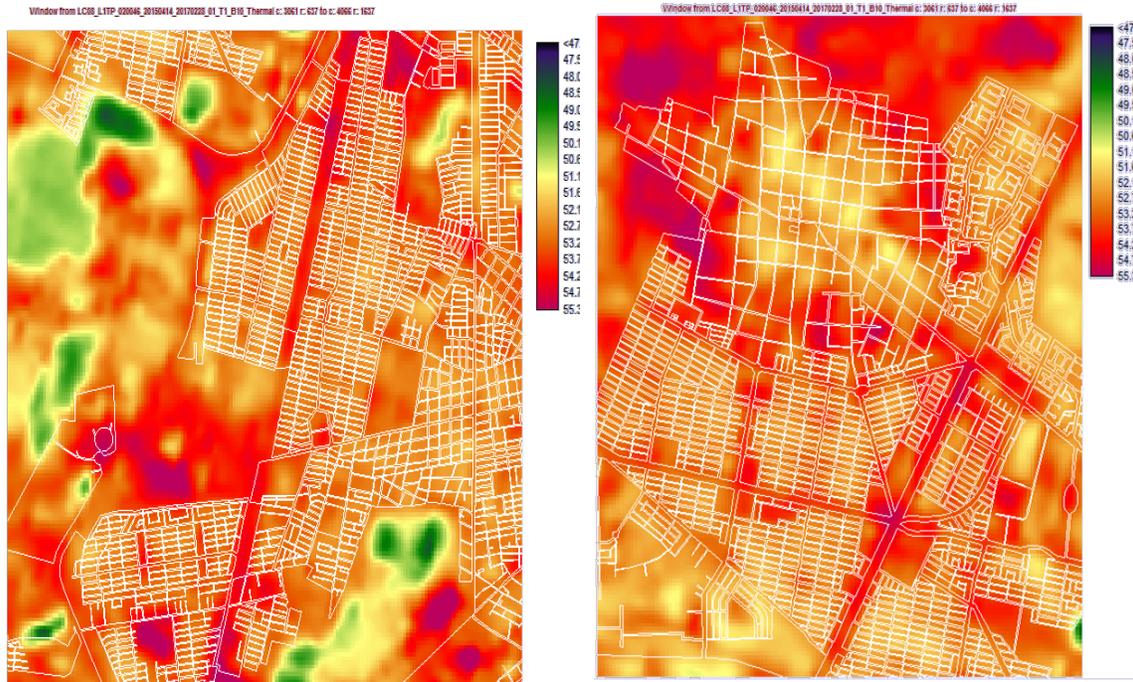
Figura 4. Temperatura de superficie fraccionamientos al oriente de la ciudad.



Fuente: Elaboración propia con imagen *Landsat 8*.

En el caso de la colonia Villas de Oriente 9,129 viviendas con una población total de 23,983 habitantes. Por su arte en Los Héroes se localizan un total de 5,187 viviendas y una población de 12,902 habitantes (INEGI, 2020b).

Figura 5. Temperatura de superficie fraccionamientos al poniente de la ciudad.



Fuente: Elaboración propia con imagen *Landsat 8*.

Resultados

En general los resultados muestran algunas áreas de mayor intensificación de la ICU en la ciudad de Mérida, reafirmando lo encontrado en los estudios previos. Los sectores habitacionales analizadas muestran un patrón de temperatura que oscila entre los 47 y los 55 grados Celsius, afectando a un total de 189,472 habitantes en 82,440 viviendas, población que representa el 14.4% de la población a escala de zona metropolitana.

En los sectores habitacionales analizados se observan ciertas coincidencias como: patrones de vivienda en serie con escasos espacios libres de construcción; escasa área verde tanto en espacios públicos (parques, jardines y juegos infantiles), como en vialidades (camellones y banquetas); lo cual favorece la intensificación de la ICU. Ahora bien, estas características son resultado de la política urbana y de vivienda actual, la cual a su vez se fundamenta en el marco normativo vigente, por lo tanto, pretender mitigar el problema de la ICU requiere más que un discurso político.

Además de lo hasta aquí expuesto, en México se han realizado varios estudios sobre el fenómeno de isla de calor, en los que se ha utilizado el procesamiento de imágenes satelitales y análisis de datos de estaciones climatológicas. De este modo, la problemática producida por las ICU han sido reportadas en la Ciudad de México (Ballinas y Barradas, 2016), Querétaro (Colunga, 2015), Mexicali (Villanueva-Solis, *et al.*, 2013), Tampico (Fuentes, 2014), Torreón (Villanueva-Solis, 2020) y Tuxtla Gutiérrez (Zavaleta-Palacios, *et al.*, 2020), entre otras ciudades que por el momento no se mencionan, demostrado que el proceso de urbanización modifica las características térmicas de la ciudad, debido a que la morfología urbana en conjunto con las superficies artificiales que la conforman se convierten en

captadores-almacenadores de energía térmica, en otras palabras, modificar el balance de energía al saturar el espacio urbano con superficies artificiales utilizadas en los procesos de urbanización.

Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran la conveniencia de utilizar la teledetección y los sistemas de información geográfica como una herramienta de análisis aplicado a la intensificación de la ICU en sectores habitacionales. Es importante destacar, que los escenarios tendenciales de cambio climático muestran un incremento en la temperatura (Iglesias, 2012), este aumento intensificará aún más la ICU, por consiguiente, se deben tomar en cuenta la importancia de establecer esquemas de mitigación y adaptación integrados a las políticas de desarrollo urbano y vivienda en la ciudad.

Para finalizar, se recomienda continuar la investigación y así profundizar en la complejidad de la morfología urbana, los procesos de urbanización y su relación con el microclima, permitiendo abrir la conversación a otros sectores y con ello, analizar las condiciones en las que se logren establecer nuevas estrategias de planeación urbana y uso de suelo, que tomen en cuenta los aspectos climáticos aquí expuestos que afectan las condiciones de vida de la población.

Referencias

- Arnfield, J., (2003). Two Decades of Urban Climate Research: A Review of Turbulence, Exchanges of Energy and Water and the Urban Heat Island. *Int. J. of Climatology* (23), 1-26 <https://doi.org/10.1002/joc.859>
- Ballinas, M., & Barradas, V. L. (2016). The Urban Tree as a Tool to Mitigate the Urban Heat Island in Mexico City: A Simple Phenomenological Model. *Journal of Environmental Quality*, 45(1), 157-166. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.01.0056>
- Bolio Osés, J. e Iracheta X. A. (2011). Programa Integral de Desarrollo Metropolitano de Mérida (PIDEM). *Fundación Plan Estratégico de Yucatán, A.C.* <https://www.cideu.org/wp-content/uploads/2019/12/merida-pidem.pdf>
- Canto, Cetina Raúl Ernesto y María Milagrosa Pérez Sánchez (2003). Comportamiento térmico en la ciudad de Mérida. En Tello, Peón Lucía y Alfredo Alonzo Aguilar (coordinadores). Evolución y estrategia del desarrollo urbano en la Península de Yucatán. FAUADY. México. Pág. 173-194.
- Carrillo-Niquete G.A., Andrade J.L, Valdez-Lazalde J.R, Reyes-García C. y Hernández-Stefanoni J.L. (2021). Characterizing spatial and temporal deforestation and its effects on surface urban heat islands in a tropical city using Landsat time series. *Landscape and Urban Planning* 217: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104280>
- Centro Mario Molina (CMM) (2014). Ciudades: Mérida Escenarios de Crecimiento. Modelos de Desarrollo Sustentable. Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente A.C. <https://centromariomolina.org/ciudades-sustentables/ciudades-sustentables-merida/>

- Colunga, M. L. (2015). El papel de la vegetación urbana en la temperatura y los efectos de las islas de calor en la ciudad de Querétaro, México. *Atmósfera* 28 (3) 205-218 http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-62362015000300005&lang=es
- Dodman, D., B. Hayward, M. Pelling, V. Castan Broto, W. Chow, E. Chu, R. Dawson, L. Khirfan, T. McPhearson, A. Prakash, Y. Zheng, and G. Ziervogel, 2022: Cities, Settlements and Key Infrastructure. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 907-1040, doi:10.1017/9781009325844.008.
- Domínguez Aguilar, Mauricio. (2011). Avances en el estudio de la estructura territorial de la Zona metropolitana de Mérida, Yucatán. *Península*, 6(1), 185-200. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-57662011000100008&lng=es&tlng=es.
- Espadas Mamrique Celene, Reyes-García Casandra y Carrillo-Niquete Gerardo (2021). La expansión urbana de Mérida, la de Yucatán, México y su contribución al cambio climático. Desde el Herbario CICY 13: 232-238 (2/diciembre/2021) Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/ ISSN: 2395-8790
- Fregoso Lomas, S. C.; Lomas Barrié, C. T.; Mangas Aguilar, A. M. (2013). Estrategias de diseño urbano-arquitectónicas para la conservación, uso y aprovechamiento del sistema de áreas verdes de la zona metropolitana de la ciudad de Mérida. Universidad Anáhuac Mayab. ISBN 978-607-8083-13-8
- Fuentes Pérez Carlos A. (2014). Islas de calor urbano en Tampico, México: Impacto del microclima a la calidad del hábitat. *Nova Scientia*. 7(1), 495-515. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052015000100024
- Heaviside, C., Macintyre, H., & Vardoulakis, S. (2017). The Urban Heat Island: Implications for Health in a Changing Environment. *Current environmental health reports*, 4(3), 296-305. <https://doi.org/10.1007/s40572-017-0150-3>
- Iglesias, Esther (2012). Reseña de Atlas: Escenarios de cambio climático en la Península de Yucatán. de Roger Orellana, Celene Espadas, Cecilia Conde, Carlos Gay. Problemas del Desarrollo. *Revista Latinoamericana de Economía* 43 (168), 191-193 <https://www.scielo.org.mx/pdf/prode/v43n168/v43n168a9.pdf>
- INEGI, (2020a). Censo de población y vivienda 2020. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. <http://www.censo2020.mx/> Acceso: 28 de junio del 2022
- INEGI, (2020b). Espacio Datos de México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espaciodydatos/default.aspx/> Acceso: 29 de mayo del 2023

- Magli, S., Lodi, C., Lombroso, L. (2015). Analysis of the urban heat island effects on building energy consumption. *Int J Energy Environ Eng* (6), 91-99. <https://doi.org/10.1007/s40095-014-0154-9>
- Oke, T. R., (2009). Boundary layer climates: Second edition. 2. New York, NY: Routledge. ISBN: 978-0-415-04319-9
- Pena Acosta, M., Faridaddin Vahdatikhaki, João Santos, Amin Hammad, Andries G. Dorée (2021). How to bring UHI to the urban planning table? A data-driven modeling approach. *Sustainable Cities and Society*, (71), 102948. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102948>.
- Pérez-Medina, S. y López-Falfán, I. (2015). Áreas verdes y arbolado en Mérida, Yucatán. Hacia una sostenibilidad urbana. *Economía, Sociedad y Territorio*, 15 (47) 1-33 https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212015000100002
- Reyes García, C. y Espadas Manrique, C. (2016). Oleadas de calor y el efecto de la vegetación en Yucatán. Desde el Herbario CICY 8 Junio 2016, Pág. 97-101 ISSN: 2395-8790
- Torres Pérez María Elena. Vivienda y periferia urbana: habitabilidad y desarrollo sostenible en Mérida, Yucatán. *Carta Económica Regional*. 2(125) 145-174 <https://doi.org/10.32870/cer.v0i125.7799>
- Villanueva-Solis, J., Ranfla, A., y Quintanilla-Montoya, A. L. (2013). Isla de Calor Urbana: Modelación Dinámica y Evaluación de medidas de Mitigación en Ciudades de Clima árido Extremo Urban Heat Island: Dynamic Modeling and Mitigation Measures Evaluation, in Extreme arid Climate Cities. 24(1), 15-24. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000100003>
- Villanueva-Solis, J. (2020). Zonas climáticas locales y uso de suelo en Torreón. Vínculos entre ciencia y política para el desarrollo urbano. Universidad Autónoma de Coahuila. ISBN 978-607-506-393-5 <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29556.17281>
- Yuanyuan Wang, Zhongyang Guo, Ji Han (2021). The relationship between urban heat island and air pollutants and them with influencing factors in the Yangtze River Delta, China. *Ecological Indicators*. 129 (107976) 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107976>.
- Zavaleta-Palacios, M., Díaz-Nigenda, E., Vázquez-Morales, W., Morales-Iglesias, H., & Narcizo de Lima, G. (2020). Urbanization and its relationship with urban heat island in Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 7(2) 1-12. <https://doi.org/10.19136/era.a7n2.2485>