

Estimación de islas de calor urbanas en la ciudad de Uruapan, Michoacán, México

Estimation of urban heat islands in the city of Uruapan, Michoacan, Mexico

Ulises Manzanilla-
Quiñones^{1*} 

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Agrobiología. Avenida Revolución esquina con Berlín s/n, Colonia Viveros. CP. 60170. Uruapan, Michoacán, México.

*Autor de correspondencia:
ulises_manza@hotmail.com

Nota científica

Recibido: 27 de septiembre 2022

Aceptado: 17 de febrero 2023

Como citar: Manzanilla-
Quiñones U (2023) Estimación de islas de calor urbanas en la ciudad de Uruapan, Michoacán, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 10(1): e3495. DOI: 10.19136/era.a10n1.3495

RESUMEN. El objetivo de esta investigación fue determinar las islas de calor urbanas (ICU) a través del uso de datos meteorológicos de temperatura máxima e imágenes satelitales en Uruapan, Michoacán, México. Mediante el uso de registros de temperatura máxima de la estación meteorológica Jicalán (CFE) del periodo 1963-1998 e imágenes satelitales Landsat 8 OLI del periodo 2013-2021, se calculó la temperatura máxima promedio instrumental y satelital durante la canícula. La estimación de las ICU se realizó al aplicar un valor de +1 °C por arriba del valor promedio histórico de temperatura registrado por la estación meteorológica Jicalán (CFE), es decir, áreas por arriba de +1 °C del valor promedio de temperatura. Las ICU identificadas fueron 23, las cuales abarcan una superficie de 146.8 ha. Como conclusión se puede decir que en la parte centro-sur de Uruapan se concentra el 95.6% de ICU, las cuales presentan valores de 1 a 3.9 °C.

Palabras clave: Áreas urbanas, análisis espacial, canícula, geografía urbana, percepción remota.

ABSTRACT. The objective of this research was to determine urban heat islands (UHI) through the use of meteorological data of maximum temperature and satellite images in Uruapan, Michoacan, Mexico. Using maximum temperature records from the Jicalán meteorological station (CFE) from the period 1963-1998 and Landsat 8 OLI satellite images from the period 2013-2021, the average instrumental and satellite maximum temperature during the canícula was calculated. The estimation of the UHI was performed by applying a value of +1 °C above the historical average temperature value recorded by the Jicalán meteorological station (CFE), that is to say, areas above +1 °C of the average temperature value. The UHI identified were 23, covering an area of 146.8 ha. In conclusion, it can be said that 95.6% of the UHI are concentrated in the south-central part of Uruapan, with values ranging from 1 to 3.9 °C.

Key words: Urban areas, spatial analysis, heat wave, urban geography, remote sensing

INTRODUCCIÓN

El término isla de calor urbana (ICU) se emplea para describir las áreas urbanas que presentan incrementos en la temperatura superficial terrestre en comparación con las zonas suburbanas o rurales que las rodean (Landsberg 1981). Este aumento en la temperatura se debe a que los materiales (pavimentos, concretos y estructuras metálicas) utilizados en la construcción tienden a absorber y retener mayor cantidad de radiación solar (Soltani y Sharifi 2017). Existen dos tipos de ICU: isla de calor superficial, la cual representa la diferencia de la temperatura registrada por los materiales, tales como el concreto, estructuras metálicas y edificios, con respecto a las zonas rurales aledañas a la ciudad (Landsberg 1981). El segundo tipo de isla de calor se denomina isla de calor atmosférica, en la cual se señala la diferencia térmica entre el aire de las zonas urbanas y rurales (Fernández 2009). La presencia de ICU en las grandes ciudades repercute en la calidad de vida de sus habitantes, generando estrés térmico (Díaz *et al.* 2015, Qaid *et al.* 2016) y sus efectos suelen ser mayores durante la temporada de canícula en México (Zhao *et al.* 2020).

A nivel mundial, los estudios sobre las islas de calor de urbanas son cada vez más frecuentes (Díaz *et al.* 2015, Qaid *et al.* 2016, Soltani y Sharifi 2017). Sin embargo, este tipo de investigaciones son relativamente escasos para México (Manzanilla-Quiñones 2022), donde la mayoría de estas investigaciones se han generado a través del uso de datos obtenidos de estaciones meteorológicas, sensores térmicos y análisis espacial (Colunga *et al.* 2015, Ballinas y Barradas 2016, Flores de la O *et al.* 2018, Manzanilla-Quiñones 2022). En México se han efectuado diversos estudios acerca de la estimación de ICU, en los cuales se han reportado una diferencia entre la temperatura superficial de áreas urbanas y suburbanas o rurales de +4.9 °C en la ciudad de Tampico, Tamaulipas (Fuentes 2014), +4.2 °C en la ciudad de Querétaro, Querétaro (Colunga *et al.* 2015), +7.1 °C en la ciudad de México (Ballinas y Barradas 2016) y de +5 °C en la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (Zavaleta-Palacios *et al.* 2020).

En el estado de Michoacán de Ocampo, la investigación del fenómeno de ICU se ha centrado única y exclusivamente para la ciudad de Morelia (Corona-Mora *et al.* 2014). Por lo que existe un gran vacío en el estudio y análisis de este tema en el estado de Michoacán. Motivo por el cual, la presente investigación tiene como objetivo analizar datos instrumentales de temperatura máxima e imágenes satelitales Landsat 8 OLI durante la temporada de canícula de julio-agosto de 2013-2021, periodo en el cual se suelen presentar mayores temperaturas en gran parte del territorio mexicano, por lo que para realizar este tipo de estudios, el lapso comprendido entre los meses de julio a agosto, resulta ser el más el apropiado para poder determinar la presencia de ICU en las ciudades, caso específico, para la ciudad de Uruapan, Michoacán, México, la cual desde un punto de vista de desarrollo socioeconómico, representa la segunda ciudad más importante de Michoacán.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La región de estudio comprende el municipio de Uruapan ubicado entre las coordenadas 19° 11' 6.3" y 19° 37' 39.6" latitud norte y los 101° 56' 10" y 102° 23' 36.8" longitud oeste. De acuerdo con INEGI (2021) comprende una superficie de 1 018.1 km² (Figura 1), sin embargo, es importante mencionar que el área evaluada corresponde a la zona urbana de la Ciudad de Uruapan.

Clima

De acuerdo con la clasificación de García (1998) el clima dominante en Uruapan corresponde al tipo templado húmedo C(m). A su vez, la variación en temperatura registrada durante el periodo 1971-2000 por las normales climatológicas de la estación meteorológica de Jicalán (CFE) fue de 25.5 °C para la temperatura máxima anual, 18.1 °C para la temperatura promedio anual y 10.7 °C para la temperatura mínima, mientras que para la precipitación se registró un total anual acumulado de 1 439.3 mm (SMN-CONAGUA 2023).

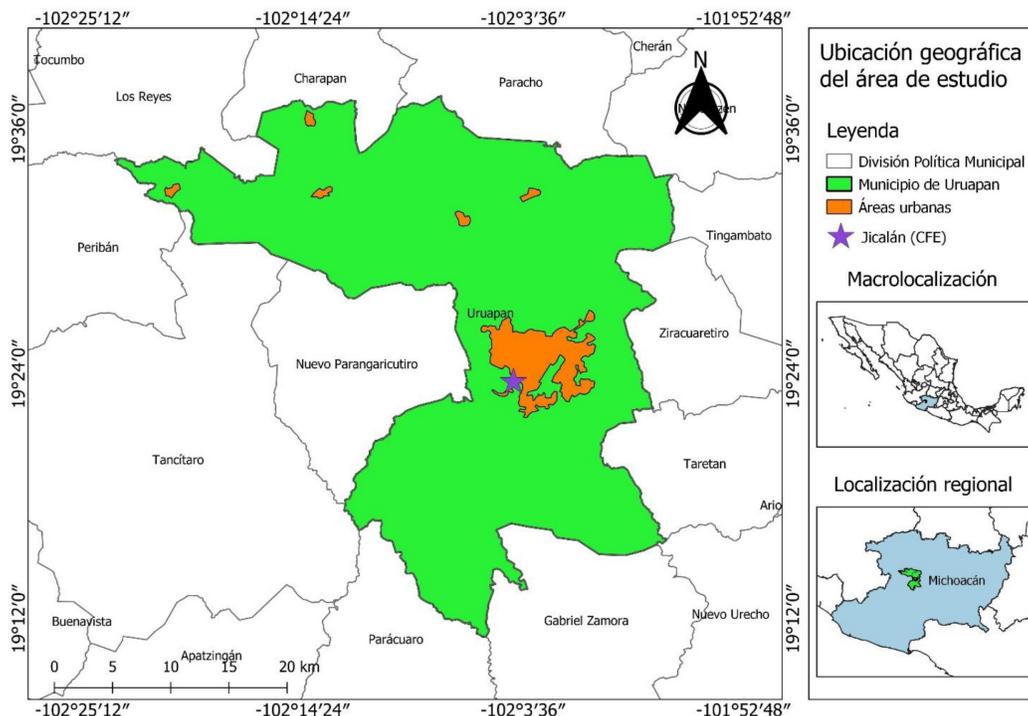


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

Datos climáticos

Se obtuvieron los datos de temperatura máxima promedio mensual registrados por la estación meteorológica de Jicalán (CFE) ubicada en la zona urbana del centro de la ciudad de Uruapan. Los registros obtenidos corresponden a los meses de julio-agosto del periodo 1963-1998 de la Base de Datos Climatológica Nacional "CLICOM". Se observó que >95% de los registros obtenidos para los meses de julio-agosto de 1963-1998 estaban completos, por lo que los valores faltantes fueron estimados mediante la aplicación de promedios móviles de orden $n = 5$, es decir, se utilizaron los datos de cinco años anteriores al registro ausente para calcular el dato faltante (Schulz 1973). Finalmente, se procedió a calcular el promedio de los meses julio-agosto con el objetivo de determinar el valor histórico del comportamiento de la temperatura promedio de los meses de canícula (Julio-Agosto). Posteriormente se complementaron las estimaciones de temperatura máxima durante la temporada de canícula utilizando los datos instrumentales y satelitales con la finalidad de deter-

minar las ICU en la ciudad de Uruapan.

Análisis satelital

Para realizar el análisis satelital fue necesario descargar las imágenes satelitales Landsat 8 OLI disponibles de la plataforma del Servicio Geológico de los Estados Unidos a una resolución espacial de 30 m y con una cobertura de nubes menor al 30% para la ciudad de Uruapan. Debido a que las bandas multiespectrales presentan errores al momento de su captura por parte del sensor del satélite, se realizaron correcciones de tipo atmosférico a las bandas rojas (B4) e infrarroja cercana (B5) mediante el uso del programa Quantum GIS (QGIS) versión 3.2.3 (QGIS 2018), esto con la finalidad de eliminar los objetos oscuros y los efectos derivados de la dispersión atmosférica (Riaño *et al.* 2000).

Estimación de la temperatura superficial terrestre

La estimación de la temperatura superficial terrestre se estimó por medio de los siguientes procesos:

Para estimar la temperatura superficial terrestre, primero se calculó la temperatura de brillo de la parte superior de la atmósfera (TBA) por medio de la siguiente ecuación (Schroeder *et al.* 2006):

$$TBA = (M_L)(Q_{cal})(A_L)$$

Donde: M_L = Factor de reescalamiento multiplicativo de la banda 10, Q_{cal} = Banda 10 de Landsat 8, y A_L = Factor de reescalamiento aditivo de la banda 10.

La conversión de valores de radiación espectral a valores de reflectancia permitió corregir el efecto de la distancia espacial entre el sol y la tierra, la cual se deriva por las distintas fechas de adquisición de cada imagen satelital.

Para luego, proceder a transformar los valores TBA a temperatura de brillo (TB) mediante la aplicación de la siguiente ecuación (Jiménez-Muñoz *et al.* 2010):

$$TB = \left(\frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{TBA}\right) + 1} \right) - \Omega$$

Donde: K_1 y K_2 = constantes de conversión térmica de la banda 10, TBA = Temperatura de brillo de la parte superior de la atmósfera, y $\Omega = -273.15$ °C. La TB hace referencia a la temperatura en grados Celsius existente en la superficie de una región geográfica (Riaño *et al.* 2000).

Posteriormente fue necesario calcular el Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (IDNV) por medio de la siguiente ecuación (Rouse *et al.* 1974):

$$IDNV = \frac{B5 - B4}{B5 + B4}$$

Donde: B5 = Banda infrarroja cercana, y B4 = Banda roja

Después se realizó el cálculo de la proporción de la vegetación (P_v) mediante la siguiente ecuación (Carlson y Ripley 1997):

$$P_v = \left[\frac{IDNV - IDNV_{min}}{IDNV_{max} - IDNV_{min}} \right]^2$$

Donde: IDNV = Índice Diferencial Normalizado de Vegetación, $IDNV_{min}$ = valor mínimo del IDNV, y $IDNV_{max}$ = valor máximo del IDNV.

De la misma forma se estimó la emisividad (E) a través de la aplicación de la siguiente ecuación (Sobrino *et al.* 2004):

$$E = (\sigma)(P_v) + C$$

Donde: σ = desviación estándar (0.004), P_v = Proporción de la vegetación y C = constante (0.986)

Por último se calculó la temperatura superficial de la tierra (TST) por medio de la siguiente ecuación (Artis y Carnahan 1982):

$$TST = \left(\frac{TB}{(1 + (a) \frac{TB}{b} (\ln(E)))} \right)$$

Donde: TB = Temperatura de brillo, E = Emisividad, y Constantes = a (0.00115) y b (1.4388).

Estimación de ICU

El proceso de identificación, delimitación y estimación de las ICU se efectuó en cinco etapas: durante la primera etapa se emplearon los registros obtenidos de temperatura máxima promedio mensual de julio-agosto de la estación de Jicalán (CFE) para estimar la temperatura máxima promedio del periodo 1963-1998 (valor histórico de referencia o promedio histórico). Segunda etapa: con los resultados obtenidos del procesamiento satelital de las bandas multispectrales: Banda 4, Banda 5 y Banda 10, se procedió a estimar el comportamiento promedio de la temperatura superficial terrestre registrado durante la canícula de 2013-2021 en la ciudad de Uruapan.

Tercera etapa: delimitación espacial de las ICU, este proceso se realizó al aplicar un valor de +1 °C al valor de temperatura de referencia (promedio histórico estimado por la estación meteorológica de Jicalán (CFE) para el periodo 1963-1998) con ayuda de la herramienta reclasificar por tabla del programa QGIS (QGIS 2018).

Cuarta etapa: se estimaron las superficies (≥ 1 ha) de las ICU identificadas en la ciudad de Uruapan. Quinta etapa: consistió en realizar una estimación de la superficie total, cálculo del número de ICU y la generación y edición de los mapas temáticos en el programa QGIS (QGIS 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con el análisis de los datos de temperatura máxima promedio mensual de la estación meteorológica de Jicalán (CFE), en la región evaluada se registró una temperatura máxima promedio histórica durante la temporada de canícula de los meses de julio-agosto del periodo 1963-1998 de 24.6 °C, con una varianza de 0.13 °C y una desviación estándar de 0.36 °C. La estimación de la temperatura superficial terrestre mediante imágenes satelitales es un método altamente fiable y preciso (Sobrino *et al.* 2004, Jiménez-Muñoz *et al.* 2010). De acuerdo con las estimaciones de temperatura superficial terrestre efectuadas mediante el procesamiento de imágenes satelitales del periodo 2013-2021, en la ciudad de Uruapan, se registraron temperaturas máximas de 26.3 a 34.3 °C siendo el 2013 el año más caluroso y el 2016 el año menos caluroso (Tabla 1). Las zonas centro y sur fueron presentaron las temperaturas más altas, esto debido a que en esas zonas se encuentran ubicados fraccionamientos, edificios, calles de concreto, el aeropuerto y demás estructuras metálicas, las cuales retienen una mayor temperatura durante la temporada de canícula, mientras que las partes cercanas a cerros y laderas, localizadas al norte y noroeste de Uruapan, registraron temperaturas más bajas (Figura 2), lo cual coincide con las temperaturas reportadas por Ballinas y Barradas (2016) para la ciudad de México, Colunga *et al.* (2015) para la ciudad de Querétaro y Flores-De la O *et al.* (2018) para la ciudad de Torreón, quienes argumentan que las áreas rurales aledañas a las ciudades, son las zonas menos cálidas.

Diversos estudios coinciden en que la formación de las ICU está directamente asociada con el desarrollo urbano de las metrópolis, las cuales provocan efectos negativos sobre la calidad de vida de sus habitantes como estrés térmico (golpes de calor), menor calidad del aire (mayor cantidad de gases contaminantes en la atmósfera) y una mayor tasa de mortalidad cuando superan los 36 °C (Díaz *et al.* 2015, Blancarte-Siqueiros *et al.* 2020), por lo que de acuerdo con lo reportado en la literatura y a los resul-

tados de este estudio, el efecto de ICU en la ciudad de Uruapan sería menor en comparación con otras ciudades como San Luis Río Colorado (Sonora) 52.5 °C, Mexicali (Baja California) 52 °C, Huetamo (Michoacán) 51.2 °C, Navojoa (Sonora) 50.6 °C y ciudad Juárez (Chihuahua) 50.5 °C, donde se registran temperaturas durante la canícula, mayores a 36 °C (Expansión Política 2023), sin embargo es importante mencionar que a futuro, debido a los efectos del cambio climático, las temperaturas durante la canícula aumenten a nivel mundial (IPCC 2014).

Tabla 1. Temperaturas máximas anuales registradas durante la temporada de canícula de 2013-2021 en la ciudad de Uruapan.

Año	Temperatura máxima (°C)
2013	34.3
2014	32.4
2015	33.3
2016	26.2
2017	29.8
2018	31.2
2019	30.5
2020	ND
2021	32.8

ND: No hay datos disponibles.

Pese a que la creación de las ICU es uno de los fenómenos urbanos muy bien documentados a escala mundial (Colunga *et al.* 2015, Soltani y Sharifi 2017) estas no habían sido analizadas, identificadas ni delimitadas en la ciudad de Uruapan y en general se han realizado muy pocos estudios en el estado de Michoacán de Ocampo. En el presente estudio se identificaron 23 ICU, las cuales presentaron valores de aumento por arriba de la temperatura promedio de 1 a 3.9 °C y una superficie mínima mayor a una hectárea. Las zonas donde se concentraron gran parte de las ICU fue en la parte centro de la ciudad de Uruapan. Donde se identificaron 20 de las 23 ICU, las cuales abarcaron una superficie de 140.4 ha (Figura 3), que representa el 95.6% del total de ICU identificadas en Uruapan. Además se observó que no existe una clara relación entre la superficie y la intensidad de las ICU, es decir, se identificaron ICU intensas con una superficie variada, siendo las ICU más intensas, las localizadas en el Boulevard Industrial, Aeropuerto, Paseo de la Revolución y Central de

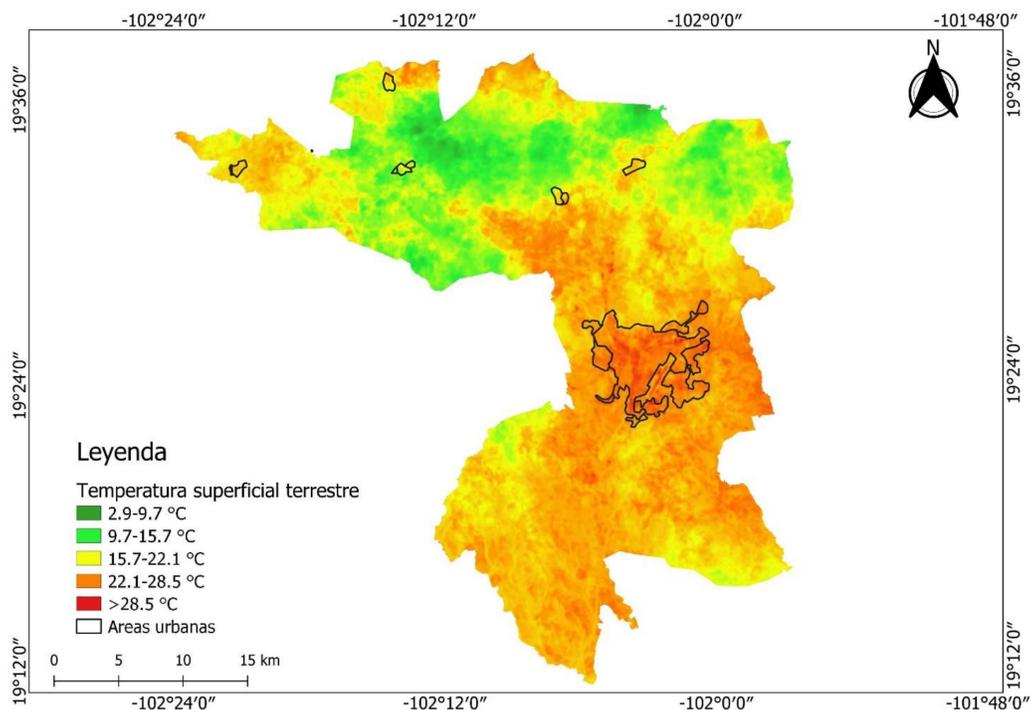


Figura 2. Variación de la temperatura superficial terrestre registrada durante la canícula de julio-agosto de 2013-2021 en Uruapan, Michoacán, México.

Abastos, donde se presentaron valores por arriba del promedio histórico de temperatura máxima de 3 a 3.9 °C.

Resultados similares han sido reportados por Fuentes (2014) quien reportó un valor de +4.9 °C de temperatura en las ICU de Tampico, Tamaulipas. Por su parte Colunga *et al.* (2015) encontraron que las ICU de la ciudad de Querétaro presentaron valores de +4.2 °C. Ballinas y Barradas (2016) hallaron valores de hasta +7.1 °C en las ICU de la ciudad de México. Mientras que Zavaleta-Palacios *et al.* (2020) reportaron en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, valores de aumento en la temperatura de las ICU de hasta 5 °C.

Por último, los resultados de estos estudios señalan el rol clave que tienen las áreas verdes urbanas en la regulación del clima local, es decir, la función que tiene la vegetación urbana en la disipación de las temperaturas (Qaid *et al.* 2016, Flores-De la O *et al.* 2018), las cuales suelen presentar diferencias térmicas entre un área urbana y un área suburbana o rural de hasta +7.1 °C (Ballinas y Barradas

2016). Desgraciadamente, las superficies estimadas de áreas verdes urbanas en la ciudad de Uruapan se desconocen, por lo que aún hace falta generar más estudios que ayuden y sirvan de apoyo para la toma de decisiones sobre el manejo y planeación del desarrollo urbano, no solamente de la ciudad de Uruapan sino de muchas otras ciudades de México.

De acuerdo con el análisis de la temperatura superficial terrestre, la parte centro-sur de la ciudad de Uruapan es el área más cálida, en ella se concentra el 95.6% del total de ICU identificadas y delimitadas, las cuales se localizan sobre el Boulevard Industrial (Home Depot, Soriana y Pemex), Avenida Lázaro Cárdenas (Glorieta del McDonald's, enfrente de la Cedrera, Facultad de Agrobiología y Planta procesadora de la Pepsi), Avenida Paseo de la Revolución (Soriana Hiper y Chevrolet Uruapan), Central de Abastos y en edificios del centro de la ciudad. La formación de estas ICU probablemente se deba al tipo de material como el concreto, asfalto y estructuras metálicas empleados en la construcción

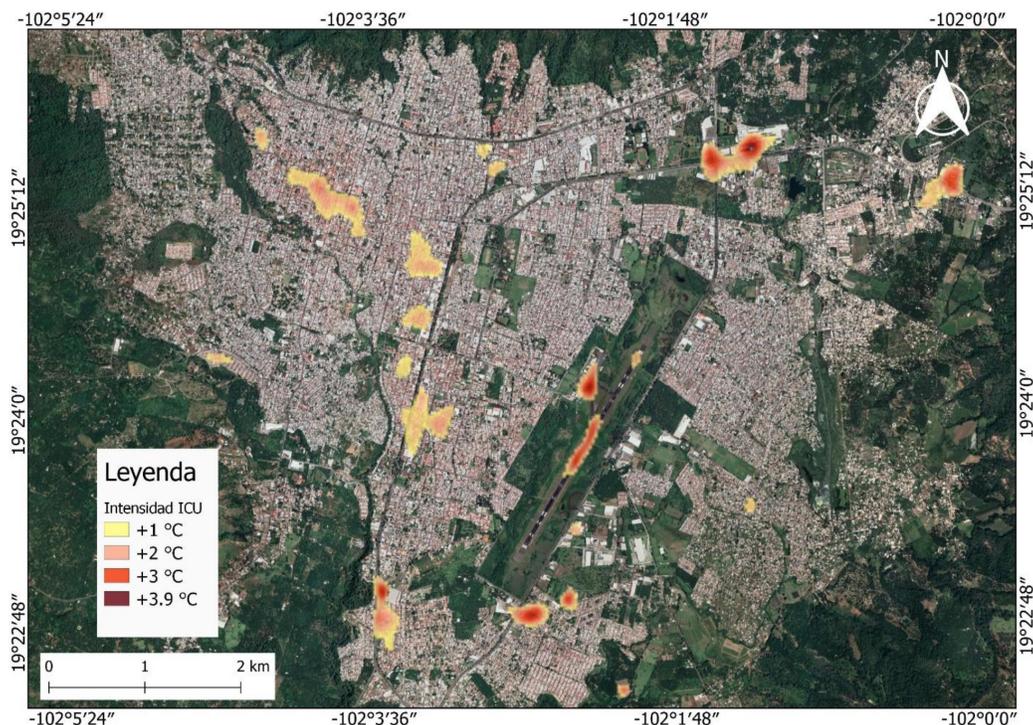


Figura 3. Distribución de las ICU durante la temporada de canícula de 2013-2021 en la ciudad de Uruapan, Michoacán, México.

de este tipo de infraestructuras, las cuales suelen retener mayor radiación solar (Soltani y Sharifi 2017), que a su vez se ve reflejada en aumento de la temperatura superficial (Landsberg 1981).

Se identificó la presencia de 23 ICU, 20 localizadas en el centro-sur de la ciudad de Uruapan, las cuales presentaron valores de aumento por arriba

del promedio histórico de temperatura máxima de 1 a 3.9 °C. Por lo que como una acción de mitigación se recomienda realizar actividades de conservación y de expansión de áreas verdes urbanas en las zonas o áreas donde se localizan las ICU (reforestación de camellones y parques), específicamente hacia el centro-sur de la ciudad.

LITERATURA CITADA

- Artis DA, Carnahan WH (1982) Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment* 12: 313-329.
- Ballinas M, Barradas V (2016) The urban tree as a tool to mitigate the urban heat island in Mexico City: simple phenomenological model. *Journal of Environmental Quality* 45: 157-166.
- Blancarte-Siqueiros RH, Pérez-Verdín G, Cortes-Ortiz A (2020) La relación entre la calidad de vida, sentido de pertenencia y áreas verdes en ambientes urbanos en la ciudad de Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 26: 97-111.
- Carlson T, Ripley D (1997) On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment* 62: 241-252.
- Colunga ML, Cambrón-Sandoval VH, Suzán-Azpiri H, Guevara-Escobar A, Luna-Soria H (2015) The role of urban vegetation in temperature and heat island effects in Querétaro city, México. *Atmósfera* 28: 205-218.

- Corona-Mora A, Sánchez-Vargas NM, Linding-Cisneros R (2014) Ensayo de dos especies de selva seca en gradientes ambientales en Michoacán, México. *Madera y Bosques* 20: 49-58.
- Díaz J, Carmona R, Mirón IJ, Ortiz C, Linares C (2015) Comparison of the effects of extreme temperatures on daily mortality in Madrid (Spain), by age group: The need for a cold wave prevention plan. *Environmental Research* 143: 186-191.
- Expansión Política (2023) ¿Cuáles son los estados más calurosos del país? En <https://politica.expansion.mx/estados/2022/07/29/cuales-son-los-estados-mas-calurosos-del-pais>. Fecha de consulta: 14 de enero de 2023.
- Fernández F (2009) Ciudad y cambio climático: aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid. *Investigaciones Geográficas* 49: 51-63.
- Flores-De la O JL, Villanueva-Solís J, Quiroa-Herrera JA (2018) Evaluación de los efectos microclimáticos que tiene la vegetación en la mitigación de la isla de calor urbana. *Revista de Ciencias Ambientales* 52: 123-140.
- Fuentes CA (2014) Islas de calor urbano en Tampico, México. Impacto del microclima a la calidad del hábitat. *Nova Scientia* 7: 495-515.
- García E (1998) Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Climas (Clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México. Archivo Vectorial Shapefile: Tipos de climas en México.
- INEGI (2021) Áreas geoestadísticas municipales. Escala 1:250000. Edición 1. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Aguascalientes, Aguascalientes, México. Archivo vectorial Shapefile: División Política Municipal.
- IPCC (2014) Resumen para responsables de políticas. Contribución del grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. En: CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Billir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds) *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Ginebra, Suiza. 34p.
- Jiménez-Muñoz JC, Sobrino JA, Cristóbal J, Soria G, Ninyerola M, Pons X, Hidalgo V, Franch B, Romaguera M, Oltra-Carrió R, Julien Y, Mattar C (2010) Obtención de la temperatura de la superficie terrestre a partir de la serie histórica LANDSAT. *Revista de Teledetección* 33: 53-63.
- Landsberg HE (1981) *The urban climate*. Academic Press. London, England. 275p.
- Manzanilla-Quñones U (2022) Islas de calor urbanas: un fenómeno poco estudiado en México. *Desde el Herbario CICY* 14: 178-186.
- Qaid A, Bin-Lamit H, Remaz-Ossen D, Nafida R, Shahminan R (2016) Urban heat island and thermal comfort conditions at micro-climate scale in a tropical planned city. *Energy and Buildings* 133: 577-595.
- QGIS (2018) Quantum QGIS Versión 3.2. Sistema de Información Geográfica libre y de código abierto. Disponible en <https://QGIS.org/es/site/>. Fecha de consulta: 30 de enero de 2021.
- Riaño D, Salas J, Chuvieco E (2000) Corrección atmosférica y topográfica, información multitemporal y auxiliar aplicadas a la cartografía de modelos de combustibles con imágenes Landsat-TM. En: *Tecnologías Geográficas para el desarrollo sostenible*. Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá de Henares. España pp: 222-239.

- Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW (1974) Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Freden SC, Mercanti EP, Becker M (eds) Third earth resources technology satellite 1 Symposium. Volume I: Technical Presentations. Washington, D.C., USA. pp: 309-317.
- Schulz EF (1976) Problems in applied hydrology. In: Water Resources Publications (ed.) Elementary statistical properties. Fort Collins. Water Resources Publications. USA. pp: 31-73.
- Schroeder TA, Cohen WB, Song C, Canty MJ, Yang Z (2006) Radiometric correction of multitemporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon. *Remote Sensing of Environment* 103: 16-26.
- SMN-CONAGUA (2023) Normales Climatológicas por Estado. Estación Jicalán (CFE). Servicio Meteorológico Nacional-Comisión Nacional del Agua. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=mich>. Fecha de consulta: 14 de enero de 2023.
- Sobrino J, Jiménez-Muñoz JC, Paolini L (2004) Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment* 90: 434-440.
- Soltani A, Sharifi E (2017) Daily variation of urban heat island effect and its correlations to urban greenery: A case study of Adelaide. *Frontiers of Architectural Research* 6: 529-538.
- Zavaleta-Palacios M, Díaz-Nigenda E, Vázquez-Morales W, Morales-Iglesias H, Lima GN (2020) Urbanización y su relación con la isla de calor en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 7: e2485. Doi: 10.19136/era.a7n2.2485.
- Zhao Z, Holbrook NJ, Oliver ECJ, Ballesteros D, Vargas-Hernández JM (2020) Characteristic atmospheric states during mid-summer droughts over Central America and Mexico. *Climate Dynamics* 55: 681-701.