Año: 2025. Volumen: 1. Numero:11 ISSN: 2448-623X

Análisis de la Dinámica del Fenómeno Isla de Calor en la Región Lagunera de Durango mediante sensores remotos

Servín-Prieto, A. J.[1]; Hernández-López, M.[2]; Velásquez-Chávez, T.[3]; Juárez-Hernández, J. M.[4]; Martínez-Burrola, J. M.[5]

Datos de Adscripción:

[1] Alan Joel Servín-Prieto. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. alan.sp@itslerdo.edu.mx
https://orcid.org/0000-0002-5534-7875

[2]✉ Mónica Hernández-López. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. monicahlop@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-6249-127X

[3] Tania Elizabeth Velásquez-Chávez. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. tania.vc@itslerdo.edu.mx
https://orcid.org/0009-0009-7788-1786

[4] José María Juárez-Hernández. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. jose.jh@itslerdo.edu.mx
https://orcid.org/0009-0009-5790-651X

[5] Juan Manuel Martínez-Burrola. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. juan.mb@itslerdo.edu.mx
https://orcid.org/0000-0002-0296-3076

Resumen **- El fenómeno de Isla de Calor Urbana (ICU) se caracteriza por el aumento de temperatura en áreas urbanas respecto a sus alrededores, asociado a la actividad antropogénica y la escasez de vegetación. Este estudio analiza el comportamiento de las ICU en el área conurbada de la Comarca Lagunera, Durango, utilizando sensores remotos para explorar su relación con las condiciones climáticas locales. Se emplearon imágenes del satélite Landsat 8 (sensor OLI/TIRS), con resolución espacial de 100 m en la banda térmica y 30 m en las multiespectrales, y una resolución temporal de 15 días. Se procesaron imágenes de otoño 2022, primavera y verano 2023, estimando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la Temperatura Superficial Terrestre (TST) mediante QGIS. Los resultados, presentados en mapas, identificaron las ICU y sus temperaturas asociadas. Se validó la hipótesis de que las áreas verdes mitigan las ICU, respaldada por coeficientes de correlación de Pearson significativos en Lerdo (r = 0.669, r = 0.690, r = 0.606) y Gómez Palacio (r = 0.652, r = 0.490, r = 0.765). El estudio demostró que la combinación de TST y NDVI es una metodología efectiva para analizar las ICU. Además, se proponen medidas de mitigación, destacando la importancia de incrementar la cobertura vegetal para reducir el impacto de este fenómeno en la zona de estudio.**

Palabras Clave **- Comarca Lagunera, Isla de Calor Urbana, Landsat 8, NDVI, Temperatura superficial terrestre**

Abstract **- The Urban Heat Island (UHI) phenomenon is characterized by increased temperatures in urban areas compared to their surroundings, primarily due to anthropogenic activity and lack of vegetation. This study analyzes the behavior of UHIs in the cocurated area of Comarca Lagunera, Durango, using remote sensing to explore its relationship with local climatic conditions. Images from the Landsat 8 satellite (OLI/TIRS sensor) were used, with a spatial resolution of 100 m in the thermal band and 30 m in the multispectral bands, and a temporal resolution of 15 days. Images from fall 2022, spring, and summer 2023 were processed to estimate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Land Surface Temperature (LST) using QGIS. The results, presented in maps, identified UHIs and their associated temperatures. The hypothesis that green areas mitigate UHIs was validated, supported by significant Pearson correlation coefficients in Lerdo (r = 0.669, r = 0.690, r = 0.606) and Gómez Palacio (r = 0.652, r = 0.490, r = 0.765). The study demonstrated that the combination of LST and NDVI is an effective methodology for analyzing UHIs. Additionally, mitigation measures were proposed, emphasizing the importance of increasing vegetation cover to reduce the impact of this phenomenon in the study area.**

Keywords **- Comarca Lagunera, Urban Heat Island, Landsat 8, NDVI, Land Surface Temperature.**

I. INTRODUCCIÓN

El acelerado proceso de urbanización ha generado profundas transformaciones en el medio ambiente, entre ellas el fenómeno conocido como Isla de Calor Urbana (ICU), el cual se manifiesta como un aumento en la temperatura del aire y de la superficie en zonas urbanas respecto a sus alrededores rurales. Este fenómeno está asociado a diversos factores, como la sustitución de superficies naturales por materiales artificiales con alta capacidad térmica, la densidad del desarrollo urbano, y la escasez de áreas verdes (Mercado, 2022).

La ICU no solo afecta el confort térmico de los habitantes, sino que también incrementa la demanda energética, deteriora la calidad del aire y contribuye a condiciones climáticas extremas a nivel local. En este contexto, el monitoreo y análisis espacial del fenómeno resulta fundamental para comprender su dinámica y proponer estrategias efectivas de mitigación (Inostroza *et al*., 2024). La teledetección, a través del uso de sensores remotos, se ha consolidado como una herramienta eficaz para estudiar la distribución espacial y temporal de la temperatura superficial terrestre (TST), así como su relación con variables biofísicas como la cobertura vegetal, comúnmente estimada mediante el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) (Bella *et al*., 2008).

Una de las tecnologías para el estudio de las islas de calor, fue por medio de imágenes satelitales, “las cuales cuentan con determinado número de bandas conocidas como multiespectrales, el nombre se debe a las respuestas de reflectancia a la luz que tiene cada banda, para el caso específico del satélite Landsat 8 OLI (el cual será utilizado para el desarrollo de la investigación), cada imagen satelital está conformada por 11 bandas multiespectrales”, teniendo 8 bandas más una

https://doi.org/10.62805/cid2025.CID011

This work is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

pancromática y 2 del sensor TIRS, que almacena datos de temperatura superficial. Estas bandas multiespectrales suelen analizarse y procesarse en programas para los sistemas de información geográfica especializados como lo son ArcGIS en el que se requiere una licencia y Qgis que es de acceso libre. (Quiñones, 2022)

La región conurbada de la Comarca Lagunera, ubicada en el estado de Durango, al norte-centro de México, presenta condiciones climáticas semiáridas y un patrón de crecimiento urbano que favorece la intensificación del fenómeno ICU. Sin embargo, los estudios sobre su comportamiento espacial y estacional aún son limitados en esta zona (INEGI, 2020).

Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la dinámica de las ICU en dicha región, mediante el procesamiento y análisis de imágenes satelitales Landsat 8, correspondientes a tres estaciones del año: otoño 2022, primavera y verano 2023. Se estimaron valores de TST y NDVI con el fin de identificar áreas críticas y explorar la correlación entre la cobertura vegetal y la intensidad del fenómeno, proponiendo además medidas orientadas a su mitigación.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

2.1 Área de estudio

Se delimitó como área de estudio la zona conurbada de Gómez Palacio y Ciudad de Lerdo, como parte de la Región Lagunera del estado de Durango.

2.2 Isla de calor urbana

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), se define como isla de calor al incremento en la intensidad térmica que se observa en las zonas urbanas en comparación con las áreas rurales más cercanas (EPA, 2016).

2.3 Satélite LANDSAT

Para este estudio los datos primarios se obtuvieron a partir de los sensores multiespectrales de la constelación LANDSAT con sus sensores OLI/TIRS de la generación 8 y 9. Estás imágenes cuentan con preprocesamiento como correcciones geométricas y radiométricas a nivel de procesamiento 1G, además cuentan con georreferenciación en sistema de referencia de coordenadas UTM. Están disponibles de manera gratuita en la plataforma del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) (Soto *et al*., 2020).

Con el fin de tener una visión precisa de la dinámica del fenómeno de Isla de Calor, se obtuvieron escenas representativas de tres estaciones del año; primavera, verano y otoño, estas fechas fueron aptas con las características para realizar el procedimiento. (Tabla 1)

Tabla 1
Imágenes seleccionadas para el estudio.

ID de Imagen	*Fecha*	*Estación*
LC08_L2SP_030042_20230325	25/03/2023	Primavera
LC09_L2SP_030042_20230808	08/08/2023	Verano
LC08_L2SP_030042_20221016	16/10/2022	Otoño

2.4 Temperatura Superficial Terrestre (TST)

La temperatura superficial terrestre se produce en la capa inferior de la atmósfera y su principal causa es la radiación de la superficie y su correspondiente intercambio de energía y al calor antropogénico (Voogt & Oke, 2010).

Para obtener la TST, se realizó una modificación en la emisividad de acuerdo a la naturaleza que tienen las diferentes cubiertas presentes en una zona de estudio. Por tanto, la TST está en función de un valor de emisividad; en este sentido, se utilizó el método de Valor & Caselles (1996), a través de la ecuación:

$$TST = \frac{k_2}{lnln\left(\frac{[\varepsilon\lambda 6 \cdot k_1]}{L\lambda}+1\right)} \quad (1)$$

En la fórmula Lλ es la radiancia espectral; ελ6 es la emitancia que tiene la banda térmica; K_1 y K_2 son constantes calibración que son en base al sensor de la plataforma satelital. (Valor & Caselles, 1996)

2.5 Índice de vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

La relación entre la TST y la abundancia de la vegetación, ha sido muy estudiada por distintos autores, de tal manera que uno de los índices de mayor precisión para medir la propiedad de la vegetación es el NDVI (Sangines Coral, 2013).

El estudio de la vegetación y la detección de las modificaciones en los patrones de vegetación son fundamentales para la evaluación y monitoreo de recursos naturales (Eastmas, 2003).

Para las mediciones del NDVI se está en función de la reflectancia visible, así como del infrarrojo cercano captado por los sensores. Se obtiene mediante la ecuación:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (2)$$

Se tiene NIR y RED que es la reflectividad espectral normalizada topográficamente, en el infrarrojo próximo (0.772-0.898 µm) y el rojo visible (0.631-0.692 µm), en ese orden. En específico, los satélites Landsat de la generación 8 y 9 proporcionan el NIR a la Banda 5 y el RED a la Banda 4. (Sangines Coral, 2013)

Para la interpretación del valor de NDVI hay que considerar que los valores que arrojan van en una escala de -1 a 1. Donde los valores cercanos a -1 son áreas de mayor humedad o suelos donde la cobertura vegetal es nula, valores cercanos a 0 se refieren a suelos desnudos y suelos cubiertos por asfaltos o concreto y finalmente, valores cercanos a 1 son zonas de cobertura vegetal intensa.

2.6 Clasificación de superficies

Para la clasificación de superficies, en primera instancia se realizó la identificación de las zonas de cobertura vegetal mediante los resultados obtenidos de la estimación del NDVI, posteriormente se llevó a cabo la clasificación, dependiendo de la densidad de cobertura vegetal. Se detectaron en total ocho clases como se muestra en la tabla 2.

https://doi.org/10.62805/cid2025.CID011
This work is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Año: 2025. Volumen: 1. Numero:11 ISSN: 2448-623X

Tabla 2
Clases de cobertura vegetal identificadas.

ID	*Descripción*
B	Bosque
A.d.C	Árboles de Calle
A.d.E	Árboles de Escuela
C.A	Casas con Árboles
S.E.	Salón de Eventos
A.d.B.A	Árboles de Bosque las Auras
I	Indefinido
A.d.F	Árboles de Fraccionamiento

La identificación de las zonas se hizo a través del software QGIS, en donde se generaron los polígonos correspondientes. Para validar los sitios identificados se realizó un recorrido en campo, con la finalidad de relacionar dichos sitios con la realidad (Figura 1 y 2).

Figura 1
Parque Victoria ubicado en la Ciudad de Lerdo.

Figura 2
Vivero ubicado en la Ciudad de Lerdo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la determinación de las áreas verdes, se calculó el porcentaje de cobertura vegetal correspondiente a cada estación del año.
A continuación, las tablas 3-8 muestran el porcentaje de cobertura vegetal obtenido con los resultados del NDVI, considerando que las áreas de vegetación de mayor cobertura son aquellas zonas donde el valor es mayor de 0.70.

Tabla 3
Porcentaje de cobertura vegetal en la temporada de primavera en la Ciudad de Lerdo.

Descripción	*Superficie (m^2)*
Área NDVI	202,630.81
Área Urbana	18’949,038.13
Porcentaje	1.09 (%)

Tabla 4
Porcentaje de cobertura vegetal en la temporada de verano en la Ciudad de Lerdo.

Descripción	*Superficie (m^2)*
Área NDVI	231,951.52
Área Urbana	18’949,038.13
Porcentaje	1.22 (%)

Tabla 5
Porcentaje de cobertura vegetal en la temporada de otoño en la Ciudad de Lerdo.

Descripción	*Superficie (m^2)*
Área NDVI	243,278.33
Área Urbana	18’949,038.13
Porcentaje	1.23 (%)

Tabla 6
Porcentaje de cobertura vegetal en la temporada de primavera en la Ciudad de Gómez Palacio.

Descripción	*Superficie (m^2)*
Área NDVI	829,065.06
Área Urbana	62’049,630.50
Porcentaje	1.33 (%)

Tabla 7
Porcentaje de cobertura vegetal en la temporada de verano en la Ciudad de Gómez Palacio.

Descripción	*Superficie (m^2)*
Área NDVI	1’105,408.28
Área Urbana	62’049,630.50
Porcentaje	1.78 (%)

Tabla 8
Porcentaje de cobertura vegetal en la temporada de otoño en la Ciudad de Gómez Palacio.

Descripción	*Superficie (m^2)*
Área NDVI	1’075,094.98
Área Urbana	62’049,630.50
Porcentaje	1.72 (%)

Se observa que en la ciudad de Gómez Palacio se encuentran más áreas verdes que en Lerdo, esto aclarando que el estudio es exclusivo para las ciudades y no todo el municipio. Pesé a contar con más áreas verdes, también los picos más altos de temperatura se presentaron en Gómez Palacio. Esto puede ser debido a factores como:

Urbanización. La ciudad de Gómez Palacio es más grande y cuenta con mayor urbanización que en Lerdo, factores como el pavimento, más industria y más civilización presente; estos factores pueden provocar que la temperatura sea mayor y tienda a conservarse más.

Topografía. La ciudad de Lerdo en sus orillas cuenta con varias montañas, es por ello que al correr los vientos de Gómez Palacio a Lerdo estos pueden rebotar y hacer que se conserven más tiempo en Lerdo. Al pasar este fenómeno, puede hacer que se cuenten con temperaturas más bajas a pesar de contar con menos vegetación. Otro factor que puede influir, es que, al contar el municipio completo en Lerdo, si se cuentan con más áreas verdes que el municipio de Gómez Palacio y es por eso que se refleja en sus respectivas ciudades.

Se validaron los datos obtenidos para cada estación, haciendo una correlación lineal entre la TST y el promedio de valores NDVI identificados en ambas ciudades y para las tres fechas estudiadas (Figura 3-8).

https://doi.org/10.62805/cid2025.CID011
This work is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Año: 2025. Volumen: 1. Numero:11 ISSN: 2448-623X

Figura 3
Correlación entre la TST y NDVI en la estación de primavera en la Ciudad de Lerdo.

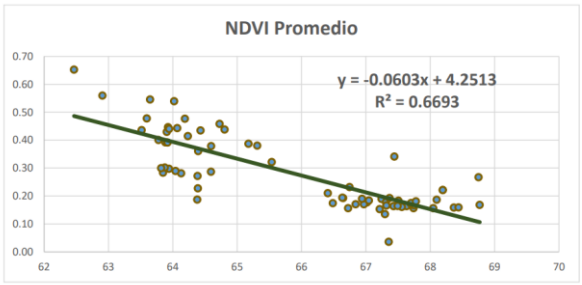


Figura 4
Correlación entre TST y NDVI en la estación de verano en la Ciudad de Lerdo.

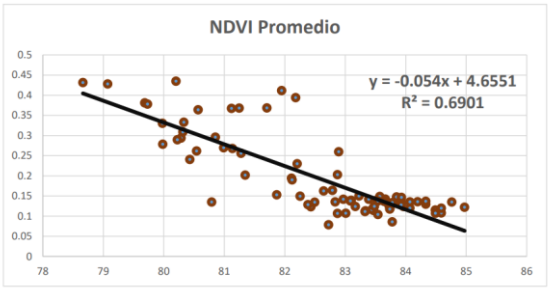
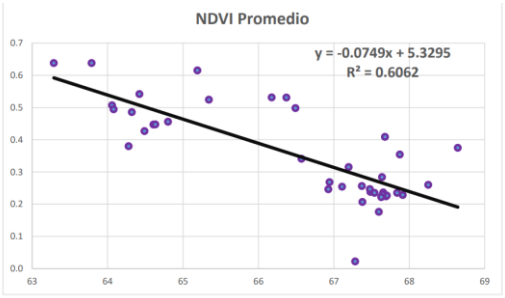


Figura 5
Correlación entre la TST y NDVI en la estación de otoño en la Ciudad de Lerdo.



0

Figura 6
Correlación entre la TST y NDVI en la estación de primavera en la Ciudad de Gómez Palacio.

0

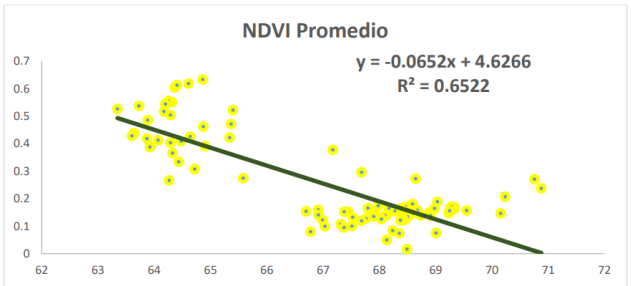


Figura 7
Correlación entre TST y NDVI en la estación de verano en la Ciudad de Lerdo.

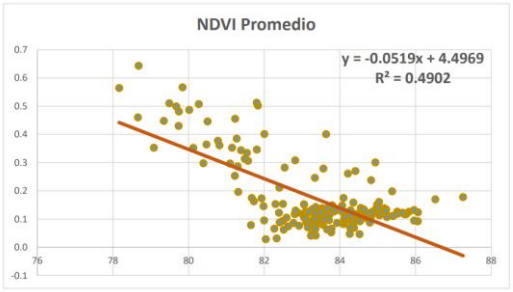
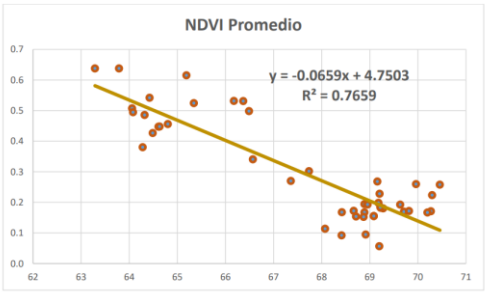


Figura 8
Correlación entre la TST y NDVI en la estación de otoño en la Ciudad de Lerdo.



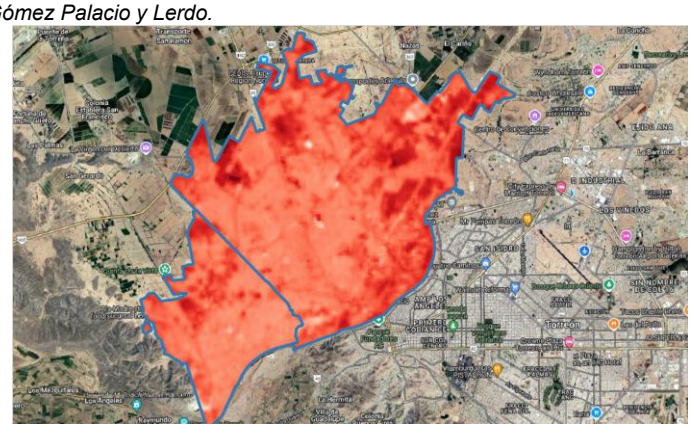
Los resultados obtenidos en este estudio revelan hallazgos relevantes para la comprensión del comportamiento térmico al igual que el estudio realizado por Carvajal *et al.* (2014), en el andino colombiano en el cual ofrecen nuevas perspectivas sobre el rol que desempeñan distintas coberturas del suelo en la regulación de la temperatura superficial terrestre (TST), un ejemplo de esto es que sus resultados mostraron temperaturas similares o incluso inferiores a las de las coberturas forestales con valores de R^2 de 0.52, 0.73 y 0.82 en diferentes zonas cafetaleras de la región.

Por otro lado, una vez obtenida la temperatura superficial, los valores obtenidos de TST se expresan en °C y se obtienen los datos para toda la imagen satelital. Es por ello que se realiza un recorte para tener solo el área de interés, siguiendo una metodología similar a la utilizada para identificar las áreas verdes con el NDVI. En este caso se cambia el mapa y se pone una escala de colores en rojo, donde los puntos que son más fuertes representan el lugar donde las temperaturas son más altas y por ende se encuentran las Islas de Calor Urbana (ICU) (Figura 9).

https://doi.org/10.62805/cid2025.CID011
This work is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Año: 2025. Volumen: 1. Numero:11 ISSN: 2448-623X

Figura 9
Mapa de identificación de Islas de Calor Urbana en las ciudades de Gómez Palacio y Lerdo.



Para determinar las ICU en el área de estudio, fue similar a las áreas verdes. Se elaboraron polígonos de cada isla que se encontró, para poder obtener datos como la temperatura promedio, el área, temperatura máxima/mínima y el tipo de suelo que se encuentra en el lugar.

Las áreas de cada ICU se clasificaron, dependiendo de lo que se encontraba en ellas. La clasificación de las islas de calor fue por criterio propio; la forma en que quedaron clasificadas es como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9
Clases de cobertura vegetal identificadas.

ID	*Descripción*
S.n.A	Suelo no Aprovechado
S.a.C	Suelo antes de Cultivo
S.p.C	Suelo para Cultivo
Suelo D	Suelo Desnudo
C.d.C	Canchas de Caucho
C.d.T.T	Canchas de Tierra
I	Industria
Comercio	Comercio

De acuerdo a la clasificación establecida, se llevó a cabo la validación e identificación en campo de los sitios con mayor temperatura donde se detectaron los mostrados en las Figuras 10-15.

Figura 10
Suelo no Aprovechado en la Ciudad de Lerdo.

Figura 11
Zona Industrial de Gómez Palacio.

Figura 12
Suelo desnudo en la Ciudad de Lerdo.

Figura 13
Nave comercial ubicada en la Ciudad de Gómez Palacio.

https://doi.org/10.62805/cid2025.CID011
This work is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Año: 2025. Volumen: 1. Numero:11 ISSN: 2448-623X

Figura 14
Cancha de caucho ubicada en la Ciudad de Gómez Palacio.

Figura 15
Suelo antes de cultivo localizado en la Ciudad de Gómez Palacio.

IV. CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en el análisis de detección del efecto de ICU en el área de estudio se puede inferir que el NDVI es un método viable para determinarlos puntos calientes, esto con la ayuda de la temperatura superficial. Por otro lado, se puede deducir que este fenómeno tiene más afectación en la ciudad de Gómez Palacio, pesé contar con porcentajes mayores de áreas verdes en cada estación escogida. En el verano se presentan las temperaturas más altas, manteniéndose primavera y otoño más similares. Se demostró que las áreas verdes son unos buenos mitigadores del calor, ya que la mayoría de ICU se dieron en suelos desnudos.

Por otro lado, se puede determinar que el tipo de suelo que más influye en la formación de las islas de calor en el área de estudio son las identificadas como suelo no aprovechado, suelo desnudo, y de manera también significativa las canchas de caucho.

V. AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento al Tecnológico Nacional de México, así como al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, a las autoridades administrativas del mismo. Agradecemos también a los alumnos de la carrera de Ingeniería Ambiental, quienes participaron y contribuyeron arduamente para que el trabajo se llevara a cabo.

VI. REFERENCIAS

Bella, C. D., Posse, G., Beget, M., Fischer, M., Mari, N., & Veron, S. (2008). La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones. *Ecosistemas, 17*(3), 39-52.

Carvajal, A. F., & Pabón, J. D. (2014). Temperatura de la superficie terrestre en diferentes tipos de cobertura de la región andina colombiana. *Sociedade & Natureza, 26*(1), 95-112.

Eastman, R. J. (2003). *IDRISI Kilimanjaro-Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes*. http://erecursos.uacj.mx/bitstream/handle/20.500.11961/2064/Eastman%2C%2020 04.pdf?sequence=11&isAllowed=y

EPA. (2016). *Heat Island Effect*. https://www.epa.gov/heat-islands

Inostroza, Luis, & Lemoine-Rodriguez, Richard. (2024). ¿Es detectable empíricamente la protección normativa del territorio? Análisis de las tendencias de temperatura y vegetación del área norte de Bogotá con sensores remotos. *Investigaciones geográficas*, (113), e60771. Epub 30 de julio de 2024. https://doi.org/10.14350/rig.60771

Mercado Maldonado, L. (2022). Mitigación y adaptación al efecto de isla de calor urbana de clima cálido seco: El caso de Hermosillo, Sonora. *Vivienda Y Comunidades Sustentables*, (11), 85–110. https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i11.187

Quiñones, U. (2022). *Islas de calor urbanas: un fenómeno poco estudiado en México.* CICY. https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2022/2022-09-01Manzanilla_Ulises-Islas-de-calor.pdf

Sangines Coral, D. E. (2013). *Metodología de evaluación de la isla de calor urbana y su utilización para identificar problemáticas energéticas y de planificación urbana*. [Tesis de grado, Universidad de Zaragoza] https://zaguan.unizar.es/record/11748/files/TESIS-2013-081.pdf

Soto J. E., Garzon Barrero, J., & Jimenez Cleves, G. (2020). Análisis de islas de calor urbano usando imágenes Landsat: caso de estudio Armenia-Colombia 1996-2018. *Espacios,* 41. https://www.revistaespacios.com/a20v41n08/a20v41n08p09.pdf

Valor, E., & Caselles, V. (1996). Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas. *Remote Sensing of Environment, 57*(3). https://doi.org/10.1016/0034-4257(96)00039-9

Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2010). Effects of urban surface geometry on remotely sensed surface temperature. *International Journal of Remote Sensing 19*. https://doi.org/10.1080/014311698215784

https://doi.org/10.62805/cid2025.CID011

This work is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/