



**EFEECTO DE LA URBANIZACIÓN SOBRE LA TEMPERATURA DE LA  
SUPERFICIE TERRESTRE EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C., DURANTE  
EL PERIODO 2002 – 2022.**

**Guillermo Alberto Ruiz Corchuelo**

**Universidad Antonio Nariño**

Programa de Maestría en Geomática Ambiental  
Faculta de ingeniería Ambiental y Civil  
Universidad Antonio Nariño  
Bogotá D.C, Colombia

2023



**EFFECTO DE LA URBANIZACIÓN SOBRE LA TEMPERATURA DE LA  
SUPERFICIE TERRESTRE EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C., DURANTE  
ELPERIODO 2002 – 2022.**

**Guillermo Alberto Ruiz Corchuelo**

Documento presentado como requisito para optar por el título de  
**Magister en Geomática Ambiental**

Director:  
Andrés Felipe Carvajal Vanegas Dr.

Línea de Investigación: Análisis en el proceso de cambio global

Grupo de Investigación:

GRESIA

Programa de Maestría en Geomática Ambiental  
Faculta de ingeniería Ambiental y Civil  
Universidad Antonio Nariño  
Bogotá D.C, Colombia

2023



**NOTA DE ACEPTACIÓN**

El trabajo de grado titulado

\_\_\_\_\_,'

Cumple con los requisitos para optar

Al título de \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_

Firma del Tutor

\_\_\_\_\_

Firma Jurado

\_\_\_\_\_

Firma Jurado

Bogota D, C, 07 noviembre 2023.

## Contenido

Pág.

<b>1. Marco Teórico y Estado del Conocimiento .....</b>	<b>1</b>
1.1 Cobertura de la superficie terrestre .....	1
1.2 Cambios en el uso de la tierra .....	3
1.3 Islas de Calor Urbano .....	4
1.4 Temperatura de la superficie de terrestre (LST) .....	5
1.5 Teledetección y geoinformática como herramientas de análisis .....	6
1.6 Tipos de sensores remotos .....	7
1.7 Sensor MODIS (Moderate Resolution Imagin Spectroradiometer).....	7
1.8 Procesamiento de imágenes satelitales .....	9
1.9 Aplicaciones de la teledetección en estudios ambientales .....	11
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>13</b>
2.1 General .....	13
2.2 Específicos .....	13
<b>3. Metodología .....</b>	<b>14</b>
3.1 Área de estudio .....	14
3.2 Metodología.....	16
3.3 Extracción y procesamiento de datos .....	18
<b>4. Resultados y discusión.....</b>	<b>19</b>
4.1 Análisis estadístico descriptivo de la Temperatura Superficial del Suelo en áreas Rurales y Urbanas.....	20
4.2 Análisis de la Temperatura Superficial del Suelo (LST) entre coberturas urbanas y rurales.....	21
4.3 Análisis de la Temperatura Superficie Terrestre (LST) interanual entre coberturas urbanas y rurales. ....	27
4.4 Análisis de la LST para valores mínimos de los grupos de análisis entre el periodo 2002 – 2022.....	31
4.5 Análisis (LST) para valores máximos de los grupos de análisis entre el periodo 2002 – 2022.....	33
4.6 Análisis de Varianza de ET por Temporalidad Mensual en Coberturas urbana y rural.....	36
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>38</b>

<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>41</b>
-------------------------	-----------

## Lista de figuras

Figura 1 Comportamiento de la temperatura máxima de la sabana de Bogotá mensual definido por colores tomado de (Gonzalo Hurtado 2012) <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 3 Números de datos de día y noche urbano y rural	20
Figura 4 diferencia entre los datos del día en cobertura rural y urbana	22
Figura 5 diferencia entre los datos de la noche en cobertura rural y urbana	22
Figura 6 diferencia entre el día y la noche cobertura urbana	23
Figura 7 Diferencia entre el día y la noche cobertura rural	24
Figura 8 Diferencia promedio LST día anual entre urbano y rural	25
Figura 9 Diferencia promedio LST noche anual entre urbano y rural <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 10 Promedio mensual LST día rural fuente: AUTOR	28
Figura 11 Promedio mensual LST día urbano fuente: AUTOR <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 12 Promedio mensual LST noche rural fuente: AUTOR	29
Figura 13 promedio mensual LST noche urbano fuente: AUTOR <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 14 Mínimos urbano y rural día fuente: AUTOR <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 18 Máximos urbano y rural noche fuente: AUTOR <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	

## **Lista de tablas**

Tabla 1 Datos de la Temperatura de la Superficie Terrestre en área rural y urbana día y noche .....	19
Tabla 3 Resumen estadístico cobertura rural .....	36
Tabla 4 Resumen estadístico cobertura urbana.....	37
Tabla 5 datos mínimos, máximos, medios, desviación estándar y kurtosis para la LST cobertura urbana y rural de día y noche.....	37

*En el amor siempre hay algo de locura, más en la locura siempre hay algo de razón. La verdad es que amamos la vida, no porque estemos acostumbrados a ella, sino porque estamos acostumbrados al amor.*

*Friedrich Nietzsche*

## **Agradecimientos**

Agradezco en especial a mi esposa Jessica Paola Jiménez González por su amor, paciencia y tolerancia para acompañarme en alcanzar un sueño.

A mi hijo Santiago Ruiz Jiménez que me tuviste paciencia y me llenaste de amor cuando más lo necesitaba con una simple sonrisa.



## Resumen

El propósito fundamental de este estudio fue examinar el comportamiento de la Temperatura de la Superficie Terrestre por su siglas en inglés (LTS) en las áreas urbanas y rurales de la ciudad de Bogotá durante el periodo comprendido entre 2002 y 2022. Se llevó a cabo una comparación mediante estadísticas descriptivas entre estas dos coberturas. La zona de estudio abarcó desde la región urbanizada de Bogotá hasta sus áreas rurales, incluyendo partes de la sabana de Bogotá.

Para obtener datos relevantes, se utilizaron registros de la LTS del producto Temperatura/emisividad de la superficie terrestre, 8 días L3 Global 1 km MOD11A2 correspondientes al periodo mencionado. Estos datos se obtuvieron a partir de puntos identificados en áreas urbanas y rurales, utilizando ortofotos de 1999 y 2021, respectivamente.

En las áreas rurales, la Temperatura de la Superficie Terrestre (LST) diurna presenta variaciones notables, con mínimos observados en bosques consolidados, máximos en regiones dedicadas a cultivos y valores elevados en zonas de explotación minera con suelo desnudo. La diversidad de estos entornos se refleja en los valores mínimos de LST, que fluctúan entre -3.97 y 14.68 grados Celsius. En el ámbito urbano, los valores mínimos de LST se asocian con la presencia de bosques urbanos y cuerpos de agua, pero suelen aumentar con la expansión urbana y la ocupación humana. Estos mínimos varían entre -8.42 y 16.79 grados Celsius, y diversas actividades, como la agropecuaria y la presencia de suelos rocosos, influyen en esta variación. Ciertamente, los factores ambientales específicos juegan un papel crucial en las temperaturas superficiales del suelo, ya sea en entornos rurales o urbanos. La interacción entre elementos como la cobertura vegetal, la reflectividad de las

superficies, la densidad de edificaciones y la presencia de cuerpos de agua, entre otros, influye significativamente en el microclima de una región determinada. Este fenómeno es particularmente evidente en áreas urbanas, donde la urbanización y la infraestructura pueden intensificar el efecto isla de calor, aumentando las temperaturas en comparación con las zonas rurales circundantes. Comprender estos factores es esencial para abordar los desafíos asociados con el cambio climático y desarrollar estrategias efectivas de gestión del entorno para mitigar sus impactos.

Los análisis realizados han destacado que, tanto durante el día como durante la noche, la cobertura urbana exhibe temperaturas más elevadas en comparación con el área rural. Este patrón evidencia de manera clara y consistente que existen diferencias significativas en el comportamiento de la Temperatura de la Superficie Terrestre (LTS) entre las áreas urbanas y rurales en Bogotá.

**Palabras clave:** (emisividad, teledetección, MOD11A2).

## **Abstract**

The fundamental purpose of this study was to examine the behavior of the Land Surface Temperature (LST) in the urban and rural areas of the city of Bogotá during the period between 2002 and 2022. A survey was carried out comparing descriptive statistics between these two coverages. The study area ranged from the urbanized region of Bogotá to its rural areas, including parts of the Bogotá savannah.

To obtain relevant data, LST records of the Earth's surface temperature/emissivity product, 8 days L3 Global 1 km MOD11A2 corresponding to the aforementioned period were used. These data were obtained from points identified in urban and rural areas, using orthophotos from 1999 and 2021, respectively.

In rural areas, the diurnal Land Surface Temperature (LST) presents notable variations, with minimums observed in consolidated forests, maximums in regions dedicated to crops and high values in mining exploitation areas with bare soil. The diversity of these environments is reflected in the minimum LST values, which range between -3.97 and 14.68 degrees Celsius. In the urban environment, minimum LST values are associated with the presence of urban forests and bodies of water, but they tend to increase with urban expansion and human occupation. These minimums vary between -8.42 and 16.79 degrees Celsius, and various activities, such as agriculture and the presence of rocky soils, influence this variation. True, specific environmental factors play a crucial role in soil surface temperatures, whether in rural or urban environments. The interaction between elements such as vegetation cover, the reflectivity of the surfaces, the density of buildings and the presence of bodies of water, among others, significantly influence the microclimate of a given region. This phenomenon is particularly evident in urban areas, where urbanization

and infrastructure can intensify the heat island effect, increasing temperatures compared to surrounding rural areas. Understanding these factors is essential to address the challenges associated with climate change and develop effective environmental management strategies to mitigate its impacts.

The analyzes carried out have highlighted that, both during the day and at night, the urban coverage exhibits higher temperatures compared to the rural area. This pattern clearly and consistently shows that there are significant differences in the behavior of the Land Surface Temperature (LTS) between urban and rural areas in Bogotá.

Keywords: (emissivity, remote sensing, MOD11A2).

## **Introducción**

Actualmente, el cambio climático es uno de los desafíos más apremiantes, dado que sus efectos se manifiestan de manera creciente en entornos urbanos y rurales en todo el mundo (Atkinson & Atkinson, 2023). En este contexto, Colombia no es la excepción; el Distrito Capital y la Sabana de Bogotá, como zonas con una significativa presencia de áreas urbanizadas y no urbanizadas, respectivamente, no están libres de los impactos del calentamiento global y de la formación de islas de calor urbano (Ramírez-Aguilar & Lucas Souza, 2019; Salas & Coy, 2019).

Los cambios en los patrones climáticos, el aumento de las temperaturas medias, la frecuencia de eventos climáticos extremos y la pérdida de biodiversidad son solo algunos de los impactos ampliamente documentados del cambio climático (Shivanna, 2022). Sin embargo, es fundamental entender que estos efectos no se distribuyen de manera uniforme. Las áreas urbanas con su alta concentración de infraestructura construida y actividad humana tienden a experimentar temperaturas más elevadas que las áreas circundantes, haciendo presente el fenómeno conocido como "isla de calor urbano", desencadenado por factores como la absorción y emisión de calor por parte de edificios y carreteras, la falta de vegetación y la concentración de fuentes de calor (Vujovic et al., 2021).

Este fenómeno no solo tiene implicaciones en la calidad de vida de sus habitantes, sino que también puede afectar la salud de los ecosistemas circundantes, como los humedales, bosques y cuerpos de agua que constituyen elementos esenciales del entorno ambiental de la zona. La comprensión de la dinámica de las temperaturas de superficie en estas áreas, tanto urbanas como rurales, es fundamental para la toma de decisiones

informadas sobre políticas de adaptación y mitigación (Abbass et al., 2022a; Yin et al., 2023).

El análisis de la temperatura de superficie en áreas urbanas y rurales no solo permite obtener valiosa sobre la isla de calor urbano, sino que también facilita la evaluación de la variabilidad climática regional. Además, permite vislumbrar el impacto de medidas de conservación de áreas rurales, como la protección de ecosistemas sensibles, en la regulación de las temperaturas y la mitigación de los efectos del cambio climático (Rao et al., 2023). Los cambios en la temperatura de la superficie terrestre no son solo fenómenos abstractos. Tienen un impacto directo y tangible en la vida cotidiana de los ciudadanos. Las variaciones en la temperatura pueden dar lugar a la formación de microclimas en áreas urbanas, lo que repercute en las costumbres y rutinas de la población (Giyasova, 2021).

A medida que las temperaturas aumentan en todo el mundo debido al incremento de gases de efecto invernadero en la atmósfera, es fundamental entender cómo estos cambios afectan a nivel local. En este sentido, la ciudad de Bogotá y sus alrededores se enfrentan a desafíos significativos relacionados con la temperatura y el clima. Un entendimiento completo de estos patrones es esencial para la formulación de estrategias de mitigación y adaptación efectivas.

Las áreas rurales en los alrededores de Bogotá son de gran importancia, ya que albergan valiosos recursos naturales, como páramos y bosques, que son fundamentales para la provisión de agua y la conservación de la biodiversidad en la región. El cambio en la temperatura de superficie en estas áreas rurales puede tener un impacto significativo en la hidrología local, la disponibilidad de recursos hídricos y la salud de los ecosistemas (Quimbayo Ruiz et al., 2020). Por lo tanto, es crucial evaluar y comprender las tendencias

de temperatura en ambos tipos de áreas para garantizar una gestión sostenible y efectiva del territorio.

Si no se aborda eficazmente el problema del aumento de la temperatura de la superficie en áreas urbanas y rurales, se vislumbra un escenario futuro inquietante. La evapotranspiración continuará en aumento, perturbando aún más el ciclo hidrológico y generando escasez de agua en la región. Además, el aumento en la temperatura del suelo puede agravar la contaminación del aire, afectando la salud de los habitantes y la calidad de vida en la ciudad (Lischeid, 2014).

Como alternativa para abordar esta problemática, se propone el uso de la teledetección, una herramienta que permite analizar el espacio geográfico y tomar decisiones basadas en datos sólidos. La teledetección ofrece la capacidad de recopilar datos de manera eficiente y en grandes extensiones geográficas, lo que facilita una comprensión más profunda de las tendencias de temperatura de superficie y su impacto en el entorno urbano y rural (Yu & Fang, 2023).

Es importante destacar que esta evaluación multitemporal de las diferencias de temperatura de superficie es un enfoque holístico y multidisciplinario., por lo cual requiere la integración de datos de múltiples fuentes, incluyendo imágenes satelitales, mediciones en el terreno y datos climáticos históricos. Además, implica la colaboración de expertos en ciencias atmosféricas, geografía, ecología y planificación urbana. El enfoque multidisciplinario es esencial para comprender la complejidad de los procesos que afectan la temperatura de superficie en una región como Bogotá y su sabana circundante.

La temperatura de la superficie terrestre es un indicador crítico para comprender y mitigar los efectos de estos fenómenos, ya que afecta tanto la calidad de vida de la población

como la salud de los ecosistemas circundantes. En este contexto, el presente trabajo se enfoca en la "Evaluación multitemporal de la diferencia de temperatura de superficie en coberturas urbana y no urbana en el Distrito Capital y la Sabana de Bogotá".

La importancia de esta investigación radica en su capacidad para proporcionar una base sólida para la toma de decisiones informadas en el ámbito de la planificación urbana y la gestión de recursos naturales. Además, los resultados de este estudio serán relevantes no solo para Bogotá, sino también para otras ciudades de América Latina que enfrentan desafíos similares en cuanto a la expansión urbana y el cambio climático. Por lo tanto, el impacto potencial de este trabajo trasciende las fronteras de la región y puede contribuir al desarrollo sostenible en un contexto más amplio.

La justificación de esta investigación radica en la falta de obtención de datos en campo, la escasez de recursos humanos para la recolección de datos y las limitaciones de la tecnología convencional. Por lo tanto, se vuelve imperativo buscar y adoptar nuevas tecnologías para abordar y analizar el espacio geográfico. La investigación también demuestra que el crecimiento descontrolado de las áreas urbanas y la falta de políticas efectivas para generar espacios verdes pueden exacerbar el problema climático.

La importancia del uso de tecnologías espaciales, como la teledetección, se acentúa aún más. La herramienta se encuentra en un momento de expansión en la investigación climática y ambiental. En Colombia, este tipo de estudios aún no es muy común, lo que resalta la necesidad de demostrar la importancia de contar con series de datos diarios para analizar fenómenos ambientales. El uso de la geomática y la teledetección se convierte en una herramienta esencial para monitorear, comprender y predecir las variaciones climáticas

en la región, respaldando la toma de decisiones informadas y la gestión sostenible del territorio (Milesi & Churkina, 2020; Molina-Gómez et al., 2022).

Actualmente, el cambio climático es uno de los desafíos más apremiantes, dado que sus efectos se manifiestan de manera creciente en entornos urbanos y rurales en todo el mundo (Atkinson & Atkinson, 2023). En este contexto, Colombia no es la excepción; el Distrito Capital y la Sabana de Bogotá, como zonas con una significativa presencia de áreas urbanizadas y no urbanizadas, respectivamente, no están libres de los impactos del calentamiento global y de la formación de islas de calor urbano (Ramírez-Aguilar & Lucas Souza, 2019; Salas & Coy, 2019).

El análisis de la temperatura de superficie en áreas urbanas y rurales no solo permite obtener valiosa sobre la isla de calor urbano, sino que también facilita la evaluación de la variabilidad climática regional. Además, permite vislumbrar el impacto de medidas de conservación de áreas rurales, como la protección de ecosistemas sensibles, en la regulación de las temperaturas y la mitigación de los efectos del cambio climático (Rao et al., 2023). Los cambios en la temperatura de la superficie terrestre no son solo fenómenos abstractos. Tienen un impacto directo y tangible en la vida cotidiana de los ciudadanos. Las variaciones en la temperatura pueden dar lugar a la formación de microclimas en áreas urbanas, lo que repercute en las costumbres y rutinas de la población (Giyasova, 2021).

A medida que las temperaturas aumentan en todo el mundo debido al incremento de gases de efecto invernadero en la atmósfera, es fundamental entender cómo estos cambios afectan a nivel local. En este sentido, la ciudad de Bogotá y sus alrededores se enfrentan a desafíos significativos relacionados con la temperatura y el clima. Un entendimiento

completo de estos patrones es esencial para la formulación de estrategias de mitigación y adaptación efectivas.

Las áreas rurales en los alrededores de Bogotá son de gran importancia, ya que albergan valiosos recursos naturales, como páramos y bosques, que son fundamentales para la provisión de agua y la conservación de la biodiversidad en la región. El cambio en la temperatura de superficie en estas áreas rurales puede tener un impacto significativo en la hidrología local, la disponibilidad de recursos hídricos y la salud de los ecosistemas (Quimbayo Ruiz et al., 2020). Por lo tanto, es crucial evaluar y comprender las tendencias de temperatura en ambos tipos de áreas para garantizar una gestión sostenible y efectiva del territorio.

Si no se aborda eficazmente el problema del aumento de la temperatura de la superficie en áreas urbanas y rurales, se vislumbra un escenario futuro inquietante. La evapotranspiración continuará en aumento, perturbando aún más el ciclo hidrológico y generando escasez de agua en la región. Además, el aumento en la temperatura del suelo puede agravar la contaminación del aire, afectando la salud de los habitantes y la calidad de vida en la ciudad (Lischeid, 2014).

Como alternativa para abordar esta problemática, se propone el uso de la teledetección, una herramienta que permite analizar el espacio geográfico y tomar decisiones basadas en datos sólidos. La teledetección ofrece la capacidad de recopilar datos de manera eficiente y en grandes extensiones geográficas, lo que facilita una comprensión más profunda de las tendencias de temperatura de superficie y su impacto en el entorno urbano y rural (Yu & Fang, 2023).

Es importante destacar que esta evaluación multitemporal de las diferencias de temperatura de superficie es un enfoque holístico y multidisciplinario., por lo cual requiere la integración de datos de múltiples fuentes, incluyendo imágenes satelitales, mediciones en el terreno y datos climáticos históricos. Además, implica la colaboración de expertos en ciencias atmosféricas, geografía, ecología y planificación urbana. El enfoque multidisciplinario es esencial para comprender la complejidad de los procesos que afectan la temperatura de superficie en una región como Bogotá y su sabana circundante.

La temperatura de la superficie terrestre es un indicador crítico para comprender y mitigar los efectos de estos fenómenos, ya que afecta tanto la calidad de vida de la población como la salud de los ecosistemas circundantes. En este contexto, el presente trabajo se enfoca en la Evaluación multitemporal de la diferencia de temperatura de superficie en coberturas urbana y no urbana en el Distrito Capital y la Sabana de Bogotá.

La importancia de esta investigación radica en su capacidad para proporcionar una base sólida para la toma de decisiones informadas en el ámbito de la planificación urbana y la gestión de recursos naturales. Además, los resultados de este estudio serán relevantes no solo para Bogotá, sino también para otras ciudades de América Latina que enfrentan desafíos similares en cuanto a la expansión urbana y el cambio climático. Por lo tanto, el impacto potencial de este trabajo trasciende las fronteras de la región y puede contribuir al desarrollo sostenible en un contexto más amplio.

La justificación de esta investigación radica en la falta de obtención de datos en campo, la escasez de recursos humanos para la recolección de datos y las limitaciones de la tecnología convencional. Por lo tanto, se vuelve imperativo buscar y adoptar nuevas tecnologías para abordar y analizar el espacio geográfico. La investigación también

demuestra que el crecimiento descontrolado de las áreas urbanas y la falta de políticas efectivas para generar espacios verdes pueden exacerbar el problema climático.

La importancia del uso de tecnologías espaciales, como la teledetección, se acentúa aún más. La herramienta se encuentra en un momento de expansión en la investigación climática y ambiental. En Colombia, este tipo de estudios aún no es muy común, lo que resalta la necesidad de demostrar la importancia de contar con series de datos diarios para analizar fenómenos ambientales. El uso de la geomática y la teledetección se convierte en una herramienta esencial para monitorear, comprender y predecir las variaciones climáticas en la región, respaldando la toma de decisiones informadas y la gestión sostenible del territorio (Milesi & Churkina, 2020; Molina-Gómez et al., 2022).

## 1. Marco Teórico y Estado del Conocimiento

### 1.1 Cobertura de la superficie terrestre

El concepto de cobertura hace referencia a la unión de características encargadas de componer la superficie terrestre de una región geográfica específica, por medio de la clasificación y categorización de las diferentes tipologías de terreno, ayudando a la comprensión de la composición y distribución de la tierra en términos de vegetación y uso (Nedd et al., 2021).

La cobertura puede abarcar bastantes elementos, en donde se incluyen cuerpos de agua, áreas urbanas, áreas rurales, vegetación natural, suelo desnudo, áreas industriales, tierras agrícolas y otros tipos de superficies, proporcionando de esta manera una representación de la estructura del paisaje de regiones específicas y facilitando el análisis de cambios ambientales, evaluación de impactos y planificación del uso de la tierra (Dursun et al., 2022; Pilant et al., 2020). Esta información sobre la cobertura de la superficie puede obtenerse por medio de técnicas de teledetección, en donde se involucran datos aéreos o satelitales que permiten categorizar e identificar las características de la superficie (Aune-Lundberg & Strand, 2021). Con respecto a la cobertura urbana, es necesario hacer referencia a la parte del suelo que ha pasado por un proceso de transformación o desarrollo ante la presencia de actividades humanas, así como la construcción de carreteras, edificios, infraestructura urbana y asentamientos, razón por la cual se incluyen zonas urbanas, suburbanas y otras áreas en donde la densidad poblacional y la actividad humana es significativa (Surya et al., 2021).

La cobertura urbana es el resultado de la urbanización, un proceso mediante el cual la población se concentra en áreas geográficas específicas, dando lugar a la creación de núcleos urbanos, en donde a medida que las ciudades crecen y se desarrollan, las áreas urbanas se expanden, a menudo a expensas de la cobertura rural circundante, creando una relación inversamente proporcional entre ambas coberturas (Angel, 2023).

Los efectos de la cobertura urbana son diversos y abarcan varios aspectos. La urbanización puede generar islas de calor urbano, donde las temperaturas son notablemente más elevadas en comparación con las zonas rurales circundantes. Este fenómeno se atribuye a la concentración de edificaciones, pavimentos y actividades humanas en entornos urbanos. La formación de estas islas de calor urbano no solo impacta las condiciones climáticas locales, sino que también afecta la calidad del aire y la comodidad térmica de los residentes urbanos, como ha sido señalada por Tabatabaei y Fayaz (2023). Es esencial comprender y abordar estos efectos para desarrollar estrategias eficaces que promuevan entornos urbanos más sostenibles y saludables.

La cobertura urbana también tiene implicaciones en la gestión de recursos naturales y la biodiversidad. La pérdida de áreas rurales y vegetación natural disminuye la disponibilidad de espacios verdes y hábitats naturales, lo que puede afectar la biodiversidad local. Además, el crecimiento urbano puede afectar el ciclo hidrológico, provocando cambios en los patrones de escorrentía de agua y aumentando el riesgo de inundaciones (W. Wang et al., 2020).

La cobertura rural hace referencia a las áreas en las que la presencia de las actividades humanas y la densidad de población son bajas en comparación con las áreas

urbanas. Además, estas zonas se caracterizan por la presencia de espacios naturales, bosques, tierras de cultivo, áreas agrícolas y otras zonas que no se encuentran altamente urbanizadas (Wineman et al., 2020).

En estos entornos rurales, las actividades humanas suelen centrarse en la ganadería, la agricultura y la explotación de los recursos naturales, razón por la cual las comunidades suelen ser pequeñas en comparación con los centros urbanos. No obstante, estos espacios de cobertura rural son muy importantes para la producción de alimentos, la preservación de paisajes naturales y culturales y la conservación de la biodiversidad (Gebre & Gebremedhin, 2019; Yusriadi & Cahaya, 2022).

## **1.2 Cambios en el uso de la tierra**

El cambio en el uso de la tierra es otro factor importante que influye en el cambio climático. Implica la transformación de áreas naturales en tierras urbanas, agrícolas o industriales, lo que modifica la cobertura del suelo y afecta el balance de carbono y otros procesos climáticos. Las actividades que contribuyen al cambio en el uso de la tierra incluyen la deforestación, la urbanización y la expansión de la agricultura (Barati et al., 2023). Las prácticas agrícolas también contribuyen a las emisiones de GEI y al cambio climático. La quema de biomasa, la gestión de estiércol y la aplicación de fertilizantes son actividades que liberan GEI, en particular, metano y óxido nitroso. Estas emisiones provienen de la agricultura intensiva y la producción de alimentos, lo que afecta el balance de GEI en la atmósfera (Johnson et al., 2007).

### 1.3 Islas de Calor Urbano

Se entiende como Islas de Calor Urbano “ICU”, a aquellos fenómenos climáticos característicos de las áreas urbanas en donde se presentan temperaturas más elevadas en comparación con las zonas circundantes. Estas diferencias de temperatura pueden ser significativas, especialmente durante la noche. Las ICU se deben a una combinación de factores relacionados con las características urbanas y los cambios en el uso del suelo (R. dos Santos & de Costa, 2018). Las ICU son el resultado de múltiples factores, tanto naturales como antropogénicos, que interactúan en las áreas urbanas y conducen al calentamiento del ambiente. Las áreas urbanas se distinguen por varias características que contribuyen a la creación y potenciación de las ICU. En el entorno urbano, las superficies impermeables y materiales de construcción como el concreto y el asfalto son prevalentes. Estos materiales tienen la capacidad de absorber y retener el calor solar durante el día, liberándolo lentamente durante la noche (Vujovic et al., 2021). Esto resulta en temperaturas más elevadas en comparación con las áreas circundantes. Por esta razón, los edificios, al albergar grandes masas de materiales que almacenan calor, pueden crear lo que se conoce como "cañones de calor" o microambientes donde el aire caliente queda atrapado. Esto limita la circulación del aire y contribuye al calentamiento local (Davies et al., 2008).

Las áreas urbanas están llenas de actividad humana, que genera calor adicional. El tráfico vehicular, la producción industrial y la concentración de personas emiten calor al ambiente, lo que incrementa las temperaturas urbanas. Así mismo, estas áreas, las cuales se encuentran densamente pobladas, generan una mayor cantidad de calor debido al uso intensivo de energía, la cocción de alimentos y otras actividades cotidianas. Esta densidad de población contribuye a una mayor emisión de calor (Vujovic et al., 2021). Los cambios

en el uso del suelo desempeñan un papel crucial en la formación de las ICU, y estos cambios a menudo se asocian con la urbanización. La transformación de áreas verdes y naturales en zonas urbanas implica la pérdida de la cobertura vegetal, que actúa como reguladora natural del clima. La vegetación proporciona sombra, absorbe la radiación solar y contribuye a la evaporación de agua, lo que enfría el ambiente. La falta de vegetación en áreas urbanas resulta en temperaturas más elevadas (Rashid et al., 2022).

La expansión de superficies pavimentadas y la reducción de áreas permeables aumentan la capacidad de absorción de calor. Esto disminuye la capacidad de la tierra para enfriarse a través de la evaporación y aumenta la retención de calor (H. Li et al., 2014). De igual manera, la urbanización a menudo conlleva cambios en la composición y estructura del suelo. Estos cambios pueden disminuir la capacidad del suelo para retener agua y regular la temperatura. El suelo urbano tiende a retener menos agua y a calentarse más rápidamente que el suelo natural (Vujovic et al., 2021).

#### **1.4 Temperatura de la superficie de terrestre (LST)**

La Temperatura de la Superficie Terrestre “LST” hace referencia a una variable climática importante que juega un rol fundamental en la comprensión de los fenómenos climáticos, como las Islas de Calor Urbano, la meteorología y el cambio climático. Así mismo, este factor hace referencia a la temperatura presente en la capa superior de la superficie terrestre, incluyendo el suelo u otros materiales que se encuentran cubriéndola (Azmi et al., 2021).

Esta temperatura suele medirse aproximadamente a 5 mm de profundidad del suelo y su unidad de medida es en grados Celsius (°C) o Kelvin (°K), permitiendo de esta manera

comprender el flujo de energía entre la superficie terrestre y la atmósfera, monitoreando de manera simultánea las variaciones en el uso del suelo y la vegetación (X. Zhang et al., 2022). La medición de la Temperatura Superficial del Suelo puede medirse mediante procesos de medición directa o por medio de estimaciones. La medición de la Temperatura Superficie Terrestre por medio del uso de sensores remotos capaces de la radiación infrarroja emitida por la superficie. Entre estos sensores remotos es posible encontrar sensores Landsat, Sentinel-2 y MODIS. Estos sensores remotos están conformados por satélites, los cuales son capaces de proporcionar imágenes de la superficie terrestre con resolución espacial de hasta 10 metros (Duan et al., 2020; Z. Wang et al., 2022). La estimación de la Temperatura Superficie Terrestre se realiza por medio de sensores remotos que no poseen bandas de infrarrojo térmico, por lo que se emplean algoritmos capaces de combinar datos de bandas de visible e infrarrojo cercano, estimando la temperatura del suelo (Jimenez-Munoz et al., 2014). Los algoritmos para la estimación de la LST se basan en la relación entre la temperatura del suelo y la reflectancia de la radiación solar en diferentes bandas espectrales. Estos algoritmos utilizan datos de sensores remotos para estimar la reflectancia de la Temperatura Superficie Terrestre en diferentes bandas espectrales. Luego, utilizan esta información para estimar la temperatura del suelo (Sayão et al., 2018).

### **1.5 Teledetección y geoinformática como herramientas de análisis**

La teledetección y la geoinformática son dos herramientas de análisis que se utilizan para recopilar, procesar y analizar datos sobre la superficie terrestre. La teledetección utiliza sensores remotos para recopilar datos sobre la superficie terrestre, mientras que la geoinformática utiliza sistemas de información geográfica (SIG) para procesar y analizar

estos datos (Anpilova et al., 2021). En el contexto de la evaluación multitemporal de la diferencia de temperatura de superficie en coberturas urbana y no urbana, estas disciplinas son esenciales para recopilar datos, realizar análisis y obtener información relevante. La teledetección se basa de manera general en el principio de que la superficie terrestre emite radiación electromagnética. Los sensores remotos recopilan datos sobre esta radiación y los utilizan para crear imágenes de la superficie terrestre. No obstante, es necesario profundizar en la interacción de la radiación electromagnética, la cual se divide en diferentes bandas espectrales, en donde cada una de las cuales corresponde a una longitud de onda específica. Estas interacciones permiten la detección de las características y propiedades de la superficie terrestre (Jafarbiglu & Pourreza, 2022).

Por otro lado, en relación con los sensores remotos, los cuales se pueden utilizar para determinar una variedad de características de la superficie terrestre, como la cobertura del suelo, la temperatura, la humedad y la vegetación, es importante entender que estos suelen encontrarse a bordo de satélites, aviones y drones, dada a facilidad de estos medios para la recopilación de información (Awais et al., 2022).

## **1.6 Tipos de sensores remotos**

Existen diversos tipos de sensores remotos utilizados en la Teledetección, cada uno con capacidades y aplicaciones específicas. No obstante, teniendo en cuenta la naturaleza de la presente investigación, a continuación, se profundiza el sensor MODIS.

## **1.7 Sensor MODIS (Moderate Resolution Imagin Spectroradiometer)**

El Sensor MODIS (abreviatura de Moderate Resoluting Imaging Spectroradiometer) es uno de los instrumentos más destacados en la Teledetección. Es un sensor a bordo de

satélites de la NASA y es conocido por su versatilidad y capacidad de proporcionar datos en múltiples bandas espectrales. El Sensor MODIS se utiliza ampliamente para una variedad de aplicaciones, incluida la monitorización climática. Además, MODIS tiene una resolución espacial de 250-1000 metros y recopila datos en 36 bandas espectrales (NASA, 2023; Xiong & Butler, 2020). El Sensor MODIS opera en una amplia gama de longitudes de onda, lo que le facilita capturar información en múltiples bandas espectrales. Estas bandas incluyen el espectro visible, el infrarrojo cercano e infrarrojo térmico. Cada banda proporciona información sobre diferentes características de la Tierra, como la vegetación, las temperaturas de superficie y la composición atmosférica, haciendo de MODIS un sensor muy completo (Luo et al., 2008).

MODIS ofrece una resolución espacial moderada, lo que significa que sus imágenes pueden capturar áreas amplias con un nivel de detalle adecuado. Esta característica es particularmente útil para observaciones de amplias zonas geográficas y análisis de tendencias a lo largo del tiempo. Además, una de las capacidades sobresalientes de MODIS es su capacidad para medir temperaturas de superficie con alta precisión, favoreciendo el seguimiento de cambios climáticos, la detección de Islas de Calor Urbano y la evaluación de la temperatura superficial del océano (NASA, 2023).

El sensor es ampliamente utilizado para la detección y seguimiento de incendios forestales. Puede detectar áreas de alta temperatura y emisión de radiación infrarroja, lo que permite la identificación de incendios en tiempo real. MODIS también es capaz de evaluar la calidad del aire y detectar contaminantes atmosféricos, como partículas finas y gases, que afectan la salud pública y la calidad del aire (Calizaya et al., 2023). MODIS se utiliza para recopilar datos que permiten analizar patrones climáticos, la evolución de la cobertura de

nieve y hielo, la variabilidad de la temperatura superficial del océano y la monitorización de eventos climáticos extremos. La constante adquisición de datos de MODIS a lo largo de los años permite realizar análisis a largo plazo, identificar tendencias climáticas y evaluar cambios en la cobertura terrestre y la atmósfera (Calizaya et al., 2023).

### **1.8 Procesamiento de imágenes satelitales**

El procesamiento de imágenes satelitales es el proceso de convertir los datos recopilados por los sensores remotos en imágenes útiles. El procesamiento de imágenes satelitales puede incluir una variedad de tareas, como la corrección atmosférica, la eliminación del ruido y la clasificación de la cobertura del suelo.

En el procesamiento de estas imágenes, en primera instancia se debe realizar la corrección de las diferencias radiométricas causadas por factores como la distancia entre el satélite y la superficie de la Tierra, la atmósfera y los sensores del satélite, puesto que esta corrección garantiza que los datos sean consistentes y comparables en diferentes momentos y ubicaciones. Posteriormente, se realiza una calibración espectral, asegurando que las respuestas espectrales de los sensores sean coherentes con los estándares y permiten la comparación de datos en diferentes momentos y con otros sensores (Payra et al., 2023).

Seguido a esto, se realiza una georreferenciación mediante sistemas de coordenadas geográficas, lo cual permite la superposición de datos con mapas, imágenes de otros sensores y análisis espacial. Este paso, permite continuar con la corrección atmosférica, en donde se eliminan o ajustan los efectos atmosféricos para obtener datos más precisos (Donlon & Ma, 2019).

Esto da paso al procesamiento de máscaras y clasificación en donde las imágenes satelitales se procesan para crear máscaras que identifican características de interés, como cuerpos de agua, áreas urbanas o vegetación, realizando de manera simultánea, tareas de clasificación para identificar y etiquetar características en la imagen. Seguido, se realiza la filtración del ruido, permitiendo eliminar interferencias electromagnéticas o errores de medición (Z. Zhang & Moore, 2015).

En esta fase, se encuentra disponible la opción de llevar a cabo la combinación de múltiples imágenes provenientes de diversas bandas espectrales, posibilitando así la creación de composiciones de color destinadas a resaltar características específicas relacionadas con la extensión y la temperatura. Correcto, después de llevar a cabo la combinación de múltiples imágenes de diferentes bandas espectrales, se abre la posibilidad de realizar análisis espaciales y temporales. Esta etapa facilita el procesamiento de las imágenes satelitales y permite la generación de diversos productos, como mapas climáticos, mapas de temperatura superficial, índices de vegetación y conjuntos de datos específicos para el monitoreo, como ha señalado Cao (2020). Estos análisis y productos resultantes son fundamentales para comprender patrones geospaciales, evaluar cambios a lo largo del tiempo y respaldar la toma de decisiones informadas en áreas como la gestión ambiental y la planificación del territorio. La geoinformática se enfoca en la captura, análisis y visualización de datos geospaciales. Utiliza Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de análisis espacial para comprender patrones geográficos y relaciones en los datos. Estas herramientas son fundamentales para la toma de decisiones y la planificación espacial.

En este contexto, el análisis espacial ayuda a identificar patrones en los datos geográficos. Puede revelar distribuciones geográficas, tendencias temporales y asociaciones

espaciales, lo que es crucial para comprender fenómenos como el cambio climático, la propagación de enfermedades y el uso de la tierra. Además, ayuda en la toma de decisiones basadas en la ubicación, puesto que puede proporcionar información a los responsables de políticas sobre la ubicación de infraestructuras, la planificación de rutas óptimas y la identificación de áreas de riesgo.

### **1.9 Aplicaciones de la teledetección en estudios ambientales**

La Teledetección desempeña un papel fundamental en una amplia variedad de estudios ambientales al proporcionar datos y herramientas para comprender mejor nuestro entorno. Entre sus aplicaciones más destacadas se incluyen la monitorización y evaluación del cambio en el uso del suelo. A través de la Teledetección, es posible rastrear y analizar los cambios en la cobertura de la tierra a lo largo del tiempo. Esto se traduce en la capacidad de evaluar el impacto de la urbanización, la deforestación y la expansión agrícola en el medio ambiente, lo que es crucial para la planificación y la toma de decisiones en la gestión del territorio (Zhu et al., 2022).

Además, la Teledetección es valiosa en la evaluación de la calidad del agua. Los sensores remotos pueden detectar indicadores de la calidad del agua en cuerpos de agua, como la turbidez y la presencia de contaminantes. Esta capacidad es esencial para la gestión de recursos hídricos y la evaluación de la salud de los ecosistemas acuáticos. Aquí, la Teledetección se utiliza para monitorear y evaluar la disponibilidad de agua, así como para detectar sequías y cambios en la cubierta de nieve y hielo (Adjovu et al., 2023).

La Teledetección también juega un papel importante en el seguimiento de eventos climáticos extremos, como huracanes, inundaciones y sequías. Los datos recopilados por los

sensores remotos permiten la evaluación y el pronóstico de estos eventos, lo que es crucial para la preparación y la respuesta a desastres naturales.

Finalmente, los estudios de ecosistemas también se benefician de la Teledetección. Permite evaluar la salud de los ecosistemas, identificar áreas críticas para la conservación y gestionar de manera sostenible los recursos naturales. La Teledetección es esencial en la monitorización de la contaminación atmosférica. Los sensores remotos pueden detectar contaminantes y partículas en la atmósfera, lo que es fundamental para evaluar la calidad del aire y su impacto en la salud pública (J. Li et al., 2020).

## **2. Objetivos**

### **2.1 General**

Evaluar el efecto de la urbanización sobre la temperatura de la superficie terrestre en la ciudad de Bogotá durante el periodo 2002 – 2022.

### **2.2 Específicos**

- Identificar el comportamiento temperatura de la superficie terrestre en la zona urbana y rural en la ciudad de Bogotá D.C.

- Analizar el efecto de la urbanización sobre temperatura de la superficie terrestre, contrastando las series de datos de temperatura cobertura urbana y cobertura rural de la ciudad de Bogotá D.C. durante el periodo 2002 – 2022.

### 3. Metodología

#### 3.1 Área de estudio

El Distrito Capital de Bogotá tiene una superficie de más de 650 kilómetros cuadrados y según el DANE en el 2018 con una población de 7.181.469 habitantes según el censo del 2018, la ciudad se encuentra sobre los 2600 m.s.n.m. Se encuentra sobre el altiplano de la cordillera occidental de los Andes, con un clima templado y vegetación tropical montañosa (Dobbs et al. 2018), con promedios de temperatura anual entre 7 grados Celsius y 18, el régimen de lluvias se comportan con dos picos al año entre los meses de abril, mayo, septiembre y noviembre alcanzando los 1400 mm anuales ( De las Salas y García Olmos, 2000 ), Bogotá representa el 15 % de la población nacional y más del 20% del PIB nacional (Garrido, Quintero-Espinosa, and Jaller 2023). La densidad poblacional alcanza 20.464 habitantes por kilómetro cuadrado. Según Dobbs et al. (2018), las coberturas que predominan son urbana, agrícolas, pastizales y plantaciones forestales (Dobbs et al. 2018).

Bogotá está ubicada entre la cordillera Central de los andes y la cordillera oriental, en la región de la Sabana de Bogotá, hace parte del Altiplano cundiboyacense, las temperaturas máximas del Altiplano cundiboyacense, tiene un comportamiento mono modal durante el año, los picos de la temperatura se presenta en el transcurrir de los meses de diciembre-enero-febrero y marzo, con descenso en el periodo de los meses de abril hasta el mes de noviembre con su pico más bajo en el mes de julio (Hurtado 2012).

El proceso de expansión urbana de Bogotá y su sabana ha sido diversa y teniendo como eje la ocupación de cobertura acuática en el transcurrir de su historia, teniendo como rumbo de crecimiento urbano los cerros orientales y posteriormente hacia el valle del río Bogotá (Andrade & Benítez Castañeda, 2011). El crecimiento de expansión de la ciudad de Bogotá tuvo un proceso importante en su área urbana solidificando las 260 hectáreas que está conformada en los años 1900 a tener un aumento de 30 hectáreas a los años 1999, teniendo su mayor impacto en los humedales, transformando las 50.000 hectáreas que se tenían en las décadas de los 30 a solo 700 hectáreas en el año 2005 (Gallini, Felacio, Agredo, & Garcés, 2014).

Los patrones de ocupación y cambio de la cobertura para el periodo 2005-2016 se realizaron en las áreas con valor ambiental, teniendo como resultado la consolidación del perímetro urbano de Bogotá y su proceso de conurbación con algunos municipios aledaños, tiene como resultado para los años 2020 la urbanización y ocupación de las áreas con valor ambiental, donde se encontraban elementos del sistema hídrico y servicios ecosistémicos (Secretaría de Planeación Distrital (IDOM 2018).

### 3.2 Metodología

La recopilación de datos se basó en imágenes disponibles de los años 2018 y 2021 de la Unidad Administrativa de Catastro Distrital. 2023. Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) de Bogotá. <https://mapas.bogota.gov.co/#>. Estas imágenes fueron utilizadas para identificar puntos que representaran cobertura urbana y rural en el período comprendido entre 1998 y 2021. Estos puntos se identificaron y se extrajeron sus coordenadas en formato de grados decimales, utilizando el sistema de referencia GCS\_WGS\_1984WKD:4356\_EPSG, después de la identificación de los puntos se tomaron los datos de Temperatura Superficie Terrestre (LST) del Sensor MODIS que se encuentran a bordo de la plataforma Aqua y Terra, con resolución espacial de 1 kilómetro cuadrado y escala temporal de 8 días. El producto de MODIS LST (MOD11A2), es calculado teniendo como base la cobertura vegetal, el vapor de agua de la columna atmosférica y la temperatura de la superficie del aire en el límite inferior, el producto MOD11A2 tiene datos diurnos y nocturnos. Los datos se obtuvieron mediante el sistema de información y datos de observación de la tierra de NASA (EOSDIS) del Programa de Sistemas de Datos de Ciencias de la Tierra (ESDS) disponibles desde el 2000 hasta la fecha.

Posteriormente, se procedió a convertir estos datos en formato CSV (valores separados por coma) para su exportación al aplicativo EOSDIS. Con el fin de asegurar que los puntos seleccionados no compartieran la misma información en términos de resolución espacial, se extrajo la grilla de una imagen MOD11A2 del sensor MODIS. Esto permitió identificar los centroides y obtener así la serie temporal de datos tanto diurnos como nocturnos para las coberturas urbana y rural.



### **3.3 Extracción y procesamiento de datos**

Se llevaron a cabo dos etapas esenciales en el proceso de obtención y preparación de los datos. Primero, se identificaron los puntos correspondientes a áreas urbanas y rurales, y posteriormente se descargaron las series de datos para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2002 y el 31 de diciembre de 2022.

El siguiente paso consistió en el procesamiento de los datos, que implicó depurar la información. Se consideraron como datos nulos aquellos que, al realizar la transformación de grados Fahrenheit a grados Celsius, resultaban en un valor cero. Tanto para las mediciones diurnas como nocturnas, estos datos fueron eliminados para evitar sesgos al calcular los promedios mensuales y anuales en la serie temporal. Una vez depurada la serie de datos, se procedió a separarlos por meses, días y años para su posterior análisis.

El software gratuito Infostat fue la herramienta empleada para llevar a cabo este procesamiento de datos, proporcionando una plataforma eficiente y confiable para la manipulación y análisis de la información recopilada. Este enfoque metodológico riguroso garantiza la calidad y la coherencia de los datos, sentando las bases para análisis detallados y conclusiones significativas en relación con las variaciones de temperatura en las áreas urbanas y rurales de la ciudad de Bogotá a lo largo del periodo estudiado.

#### 4. Resultados y discusión

Con un total de 185 puntos distribuidos en 20 teselas, se logró recuperar un conjunto de 269.097 datos provenientes del sensor MOD11A2-061. Estos datos abarcaron tanto las coberturas urbanas como rurales, registrando información diaria y nocturna. Este conjunto de datos extenso y bien distribuido proporciona una base robusta para análisis detallados y evaluaciones comparativas de la Temperatura de la Superficie Terrestre (LST) en diferentes contextos y condiciones. La amplitud de la cobertura espacial y temporal de los datos recopilados ofrece una perspectiva integral para comprender las variaciones y tendencias en la temperatura superficial del suelo en las áreas de interés urbano y rural.

Tabla 1 Datos de la Temperatura de la Superficie Terrestre en área rural y urbana día y noche

Variable	Datos	
	datos	faltantes
LST_Night_RURAL	75.438	11.517
LST_Day_RURAL	63.386	23.569
LST_Night_URBANA	72.019	7.703
LST_Day_URBANA	58.254	23.146

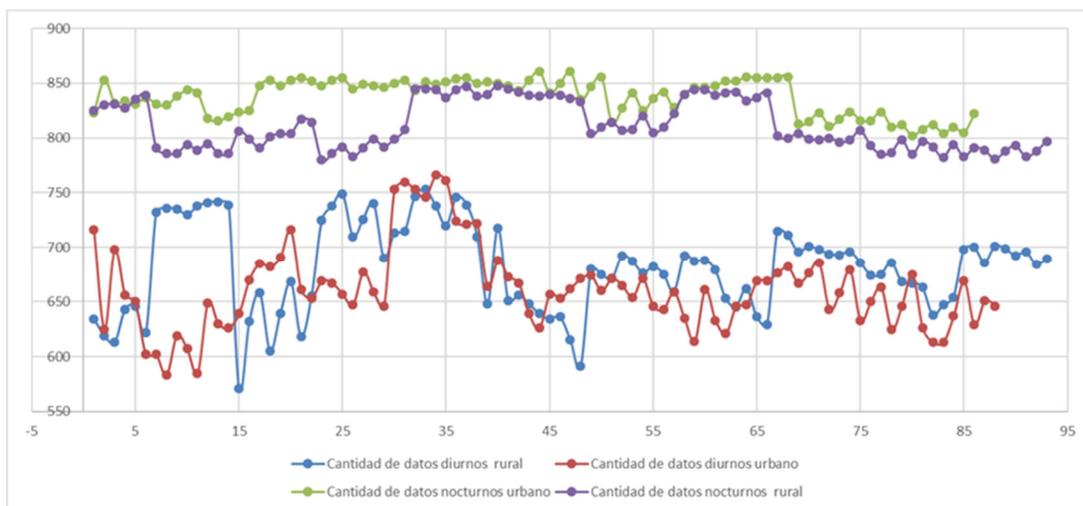
La Temperatura de la Superficie Terrestre (LST) en el área urbana durante el período de 2002-2022, tanto en datos diurnos como nocturnos, muestra consistentemente valores superiores, resaltando la significativa influencia de la disponibilidad de humedad y el albedo del suelo en el equilibrio energético y su impacto en el ciclo hidrológico.

Con un total de 185 puntos distribuidos en 20 teselas, se recuperaron 269,097 datos del sensor MOD11A2-061, a incluir tanto áreas urbanas como rurales en registros diurnos y nocturnos. Este conjunto de datos respalda las observaciones de Wen en 2001 y 2003 en la ciudad de Zhujiang, China, donde desarrolló una conexión significativa entre la cobertura del suelo y la temperatura radiante del suelo, utilizando sensores remotos para medir dicha temperatura. Su análisis detallado reveló variaciones notables en la temperatura de la superficie terrestre (LST) dentro de las áreas urbanas, identificadas.

#### 4.1 Análisis estadístico descriptivo de la Temperatura Superficial del Suelo en áreas Rurales y Urbanas.

Para las coberturas zonas rurales se obtuvo un total de 103.738 registros, y para las urbanas un total de 99.424 registros (Tabla 1).

Figura 2 Números de datos de día y noche urbano y rural



*Nota: La figura 2 muestra la cantidad de datos por puntos y variable para el estudio.*

#### **4.2 Análisis de la Temperatura Superficial del Suelo (LST) entre coberturas urbanas y rurales.**

La estimación de la Temperatura de la Superficie Terrestre (LST) en las coberturas urbanas y rurales reveló consistentemente valores más elevados en las coberturas urbanas, tanto en datos diurnos como nocturnos, durante el período analizado entre 2002 y 2022. Este fenómeno se atribuye a la mayor capacidad de absorción de calor por parte de los materiales urbanos, así como a la intensidad de la luz nocturna y la disponibilidad de humedad, según señalan (Liu, Zhou y Feng en 2023).

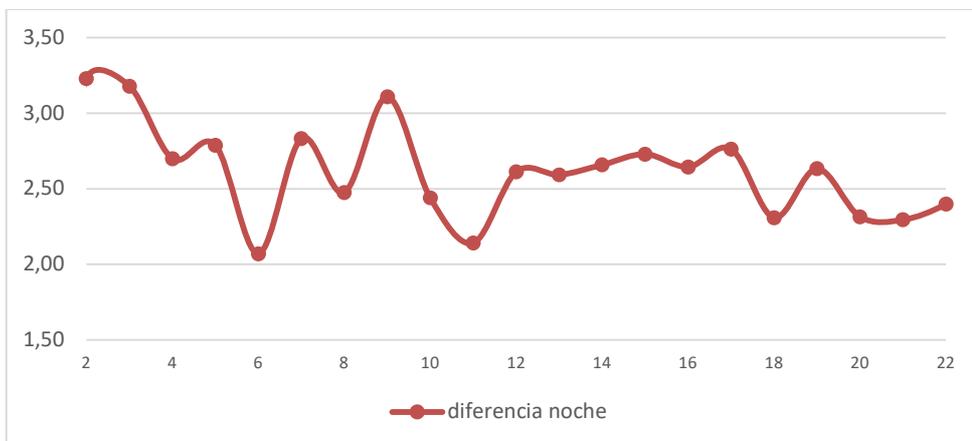
En términos de diferencia entre la LST diurna de las coberturas urbanas y rurales, se observó un incremento de 3.56 grados Celsius durante el período evaluado Figura 7. Para las horas nocturnas, la diferencia fue de 2.58 grados Celsius como se muestra en la Figura 8. Estos resultados respaldan la noción de que el rendimiento de la predicción de la LST urbana y sus aplicaciones prácticas pueden beneficiarse significativamente cuando se tiene en cuenta la presencia de matices rurales en el paisaje, como sugiere el estudio de (Y. Chen et al. en 2023). Este enfoque más detallado permite una comprensión más precisa de las variaciones en la temperatura superficial del suelo, contribuyendo así a mejoras en la predicción y en la interpretación de las implicaciones prácticas, especialmente en entornos urbanos complejos.

Figura 3 diferencia entre los datos del día en cobertura rural y urbana



*Nota: La figura 3 muestra las diferencias de los promedios anuales entre las LST día entre las cobertura urbana y rural.*

Figura 4 diferencia entre los datos de la noche en cobertura rural y urbana

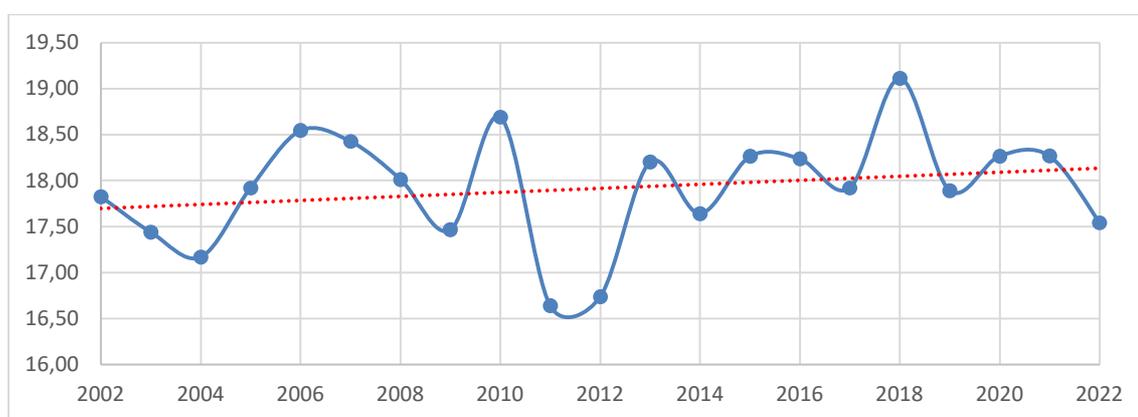


*Nota: La figura 4 muestra las diferencias de los promedios anuales entre las LST noche entre las cobertura urbana y rural.*

Los datos en la LST diurna urbano promedio anual muestra que a medida que aumenta la LST diurna urbana disminuye la LST nocturna urbana, siendo este efecto en la LST nocturna el indicador para estudiar el cambio climático debido al proceso de

sensibilidad a la cobertura urbana continua (Siddiqui et al. 2021), la tendencia de los datos en las diferencias de la LST No obstante, la variabilidad de la LST entre la día y la noche entre el periodo analizado va en tendencia al aumento siendo evidencia en la disminución del enfriamiento de la cobertura urbana entre el día y la noche Figura 6.

Figura 5 diferencia entre el día y la noche cobertura urbana

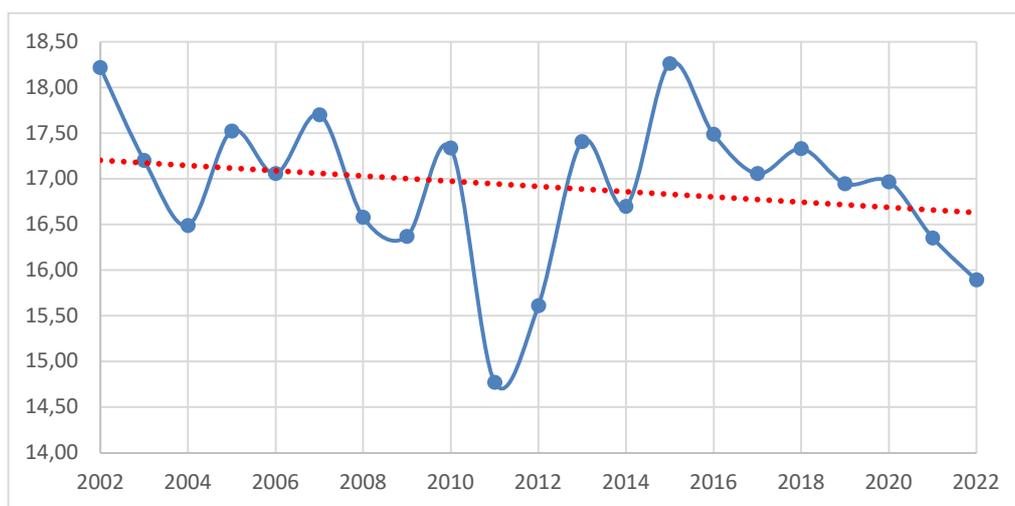


*Nota: La figura 5 muestra las diferencias entre el día y la noche de la LST en la cobertura urbana y su tendencia en el periodo de análisis.*

Los datos de la Temperatura de la Superficie Terrestre (LST) diurna y nocturna en las áreas rurales muestran una leve tendencia a la disminución de 0.12 grados Celsius durante el período evaluado. Este enfriamiento observado en la cobertura rural indica una relación interesante: a medida que la LST diurna rural aumenta, la LST nocturna rural tiende a disminuir. Este fenómeno sugiere una mayor capacidad de enfriamiento en la cobertura rural durante ambas temporalidades, día y noche.

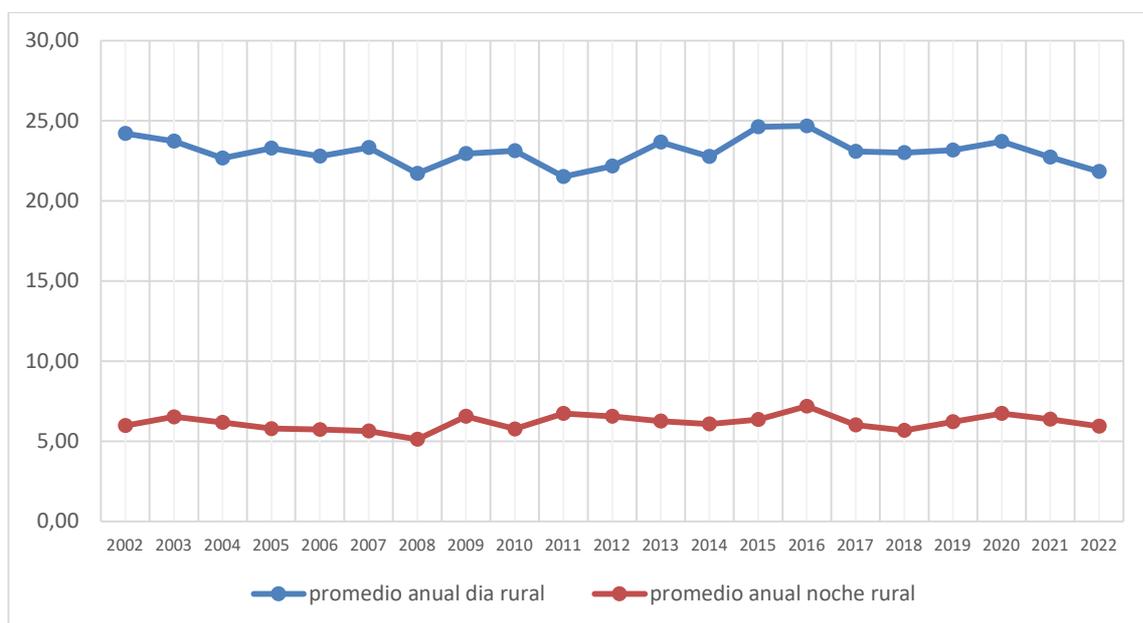
Esta tendencia encuentra respaldo en el estudio de Kim and Brown en 2021, que destaca la importancia del albedo del suelo y la disponibilidad de humedad para el equilibrio energético de la superficie. Estos factores influyen en la capacidad de la cobertura rural para disipar el calor acumulado, lo que se refleja en la disminución de la LST nocturna a pesar del aumento en la LST diurna. Este hallazgo subraya la complejidad de los procesos de interacción entre la superficie del suelo y su entorno, destacando la influencia de factores como el albedo y la humedad en el comportamiento térmico de las áreas rurales a lo largo del tiempo Figura 7.

Figura 6 Diferencia entre el día y la noche cobertura rural



Nota: La figura 6 muestra las diferencias entre el día y la noche de la LST en la cobertura rural y su tendencia en el periodo de análisis.

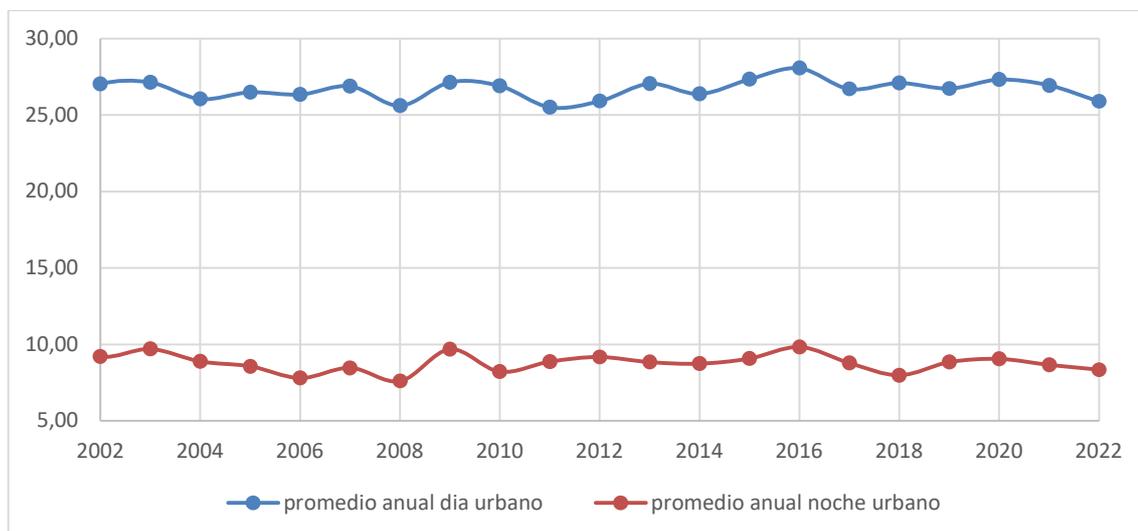
Figura 7 Diferencia promedio LST día anual entre urbano y rural



*Nota: La figura 7 muestra la LST anual entre los promedios de las coberturas urbano y rural del día en el periodo de análisis.*

En comportamiento de la LST día y noche en la cobertura rural en el periodo evaluado se encontró una ligera disminución de 24.2 grados Celsius a 21.85 y de 0.03 grados centígrado en la totalidad de los puntos analizados Figura 11, esto es una evidencia que las coberturas rurales tiene un comportamiento estable en la regulación de la LST como lo de evidencia en su estudio (Carvajal and Pabón 2014).

Figura 8 Diferencia promedio LST noche anual entre urbano y rural



Nota: La figura 8 muestra la LST anual entre los promedios de las coberturas urbano y rural de la noche en el periodo de análisis.

El comportamiento de la Temperatura de la Superficie Terrestre (LST) en la cobertura urbana revela una disminución de 1.15 grados Celsius en la LST diurna durante el periodo de 2002-2022. No obstante, en el caso de la LST nocturna, no se evidenció una disminución significativa en el mismo periodo. Este patrón sugiere que, a pesar de la reducción en la LST diurna, la LST nocturna se mantiene relativamente constante Figura 9.

Este fenómeno puede atribuirse a las características de los materiales predominantes en las áreas urbanas, como el hormigón y las estructuras metálicas, así como a la falta de espacios verdes. Estos elementos pueden tener una menor capacidad de pérdida de temperatura superficial durante la noche, contribuyendo a la estabilidad de la LST nocturna. Este hallazgo respalda la idea de que la composición y la infraestructura urbana pueden

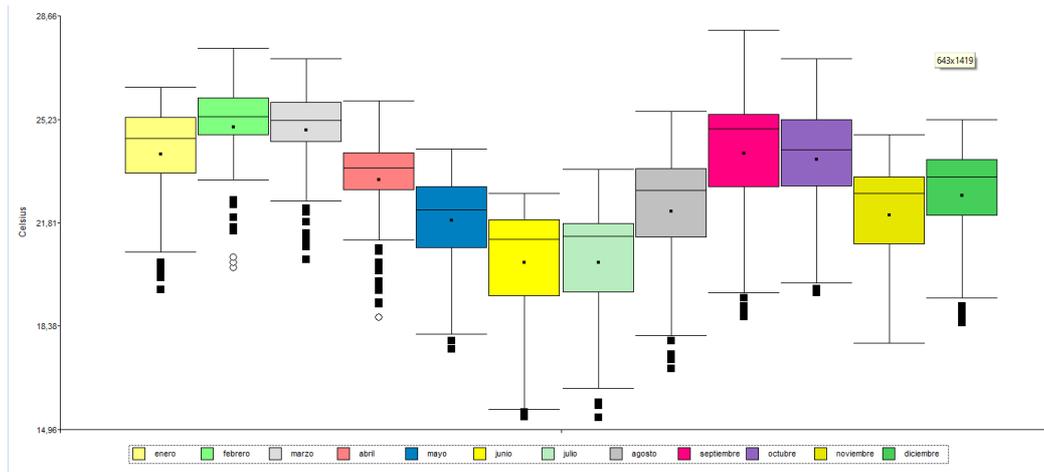
influir significativamente en los patrones térmicos, y subraya la importancia de considerar la complejidad de los entornos urbanos al analizar las variaciones en la temperatura superficial del suelo. como lo expone en su estudio Y. C. Chen (et al. 2017).

#### **4.3 Análisis de la Temperatura Superficie Terrestre (LST) interanual entre coberturas urbanas y rurales.**

El comportamiento de las temperaturas en la Sabana de Bogotá sigue un patrón de máximos en los cuatro meses de diciembre, enero, febrero y marzo, alcanzando su punto más alto en marzo, seguido de una disminución en los meses de abril, mayo y junio, llegando a su valor mínimo en julio, según lo indicado en el estudio realizado por Hurtado (2012).

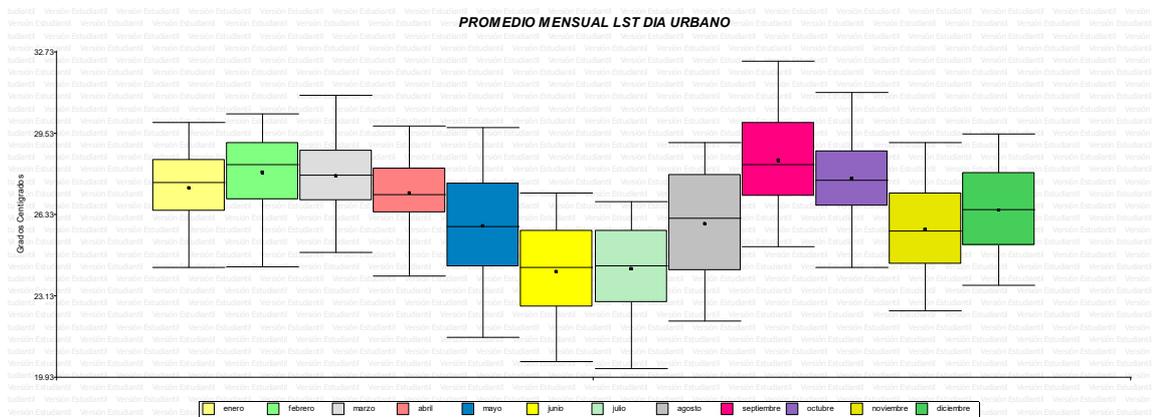
Este patrón térmico se refleja de manera proporcional en la tendencia interanual de la Temperatura de la Superficie Terrestre (LST) de las coberturas analizadas tanto en el día como en la noche. Sin embargo, al examinar las diferencias de temperatura nocturna entre las dos coberturas, se observa que las mayores disparidades se encuentran en los meses de enero, septiembre y febrero. Este comportamiento diferencial entre lo rural y lo urbano surge justo después del punto más bajo en la temperatura y coincide con el aumento en la LST de la cobertura urbana, que retiene más convección de calor, según lo destacado por Vergopolan and Fisher en 2016. Este hallazgo subraya la influencia única de las características urbanas en las variaciones térmicas, mostrando la capacidad de las áreas urbanas para retener y generar calor, especialmente en períodos específicos del año.

Figura 1 Promedio mensual LST día rural fuente: AUTOR



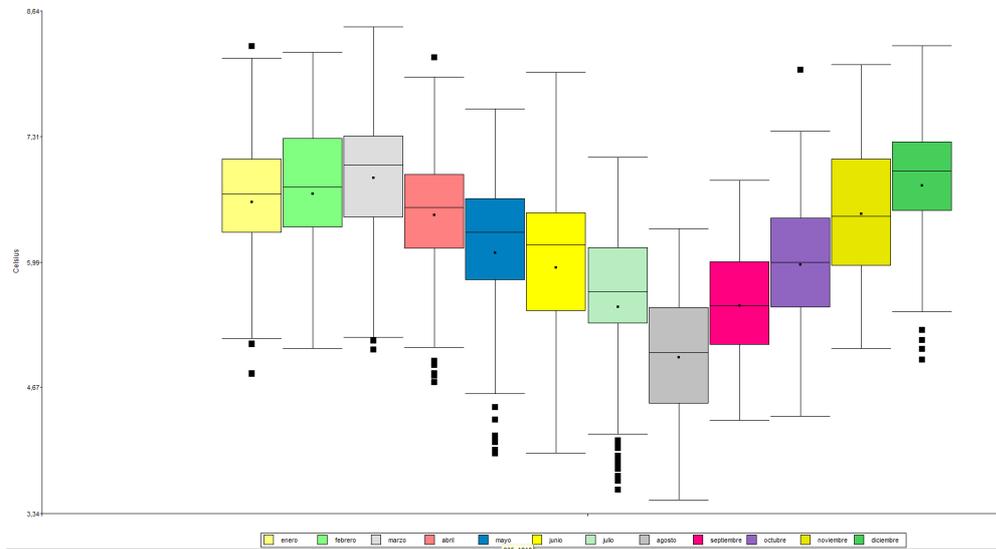
Nota: La figura 9 muestra la distribución de los datos mensuales multianual promedio y los valores atípicos de la LST para la cobertura rural en el día.

Figura 10 Promedio mensual LST día urbano fuente: AUTOR



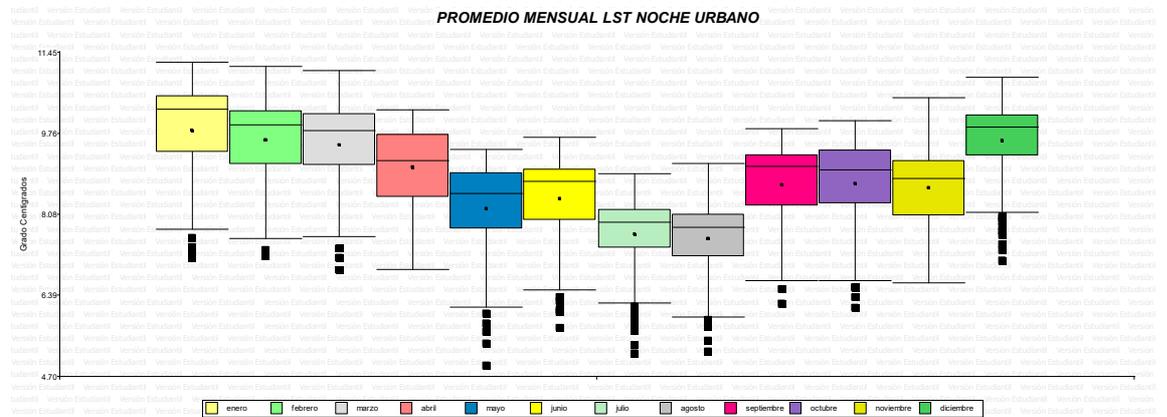
Nota: La figura 10 muestra la distribución de los datos mensuales multianual promedio y los valores atípicos de la LST para la cobertura urbana en el día.

Figura 11 Promedio mensual LST noche rural fuente: AUTOR



Nota: La figura 11 muestra la distribución de los datos mensuales multianual promedio y los valores atípicos de la LST para la cobertura rural en la noche

Figura 2 promedio mensual LST noche urbano fuente: AUTOR



Nota: La figura 12 muestra la distribución de los datos mensuales multianual promedio y los valores atípicos de la LST para la cobertura urbana en la noche

En los datos promedios mensuales diurnos, se observó que la Temperatura de la Superficie Terrestre (LST) en el área rural fue más elevada en los meses de abril de 2014 y

agosto de 2015. Por otro lado, en los datos nocturnos, se registraron niveles más altos de LST en las áreas rurales durante julio de 2008, mayo de 2011 y noviembre de 2011. Comprender las dinámicas del entorno urbano y rural adquiere gran relevancia, dado que la intensidad y los efectos de la emisión de la Temperatura de la Superficie Terrestre constituyen evidencia de los cambios en los gradientes de LST y sus tendencias, actuando como fuerzas impulsoras del cambio climático, según lo destacado por (Jia y Zhao en 2020). Estos hallazgos resaltan la importancia de examinar las variaciones en la Temperatura de la Superficie Terrestre en ambos entornos para comprender mejor las contribuciones a los patrones climáticos y los posibles impactos ambientales.

En los promedios mensuales multianuales, se identificó que los meses con mayor Temperatura de la Superficie Terrestre (LST) durante el día en las coberturas tanto rurales como urbanas son enero, febrero, marzo y diciembre. En cambio, en la cobertura urbana, los meses con mayor LST nocturna se identificaron como febrero, marzo y septiembre, mientras que en la cobertura rural fueron enero, febrero y marzo.

Las diferencias entre las LST diurnas y nocturnas en la cobertura rural se manifestaron principalmente en los meses de abril, septiembre y octubre. Por otro lado, en la cobertura urbana, estas diferencias se registraron en enero, febrero y septiembre. Este patrón sugiere una variación significativa en las temperaturas entre el día y la noche en ambas coberturas, con diferencias notables en los meses mencionados.

El aumento en la variación diurna de la LST, atribuido a la urbanización, implica que la urbanización podría resultar en un incremento más sustancial en la absorción de calor

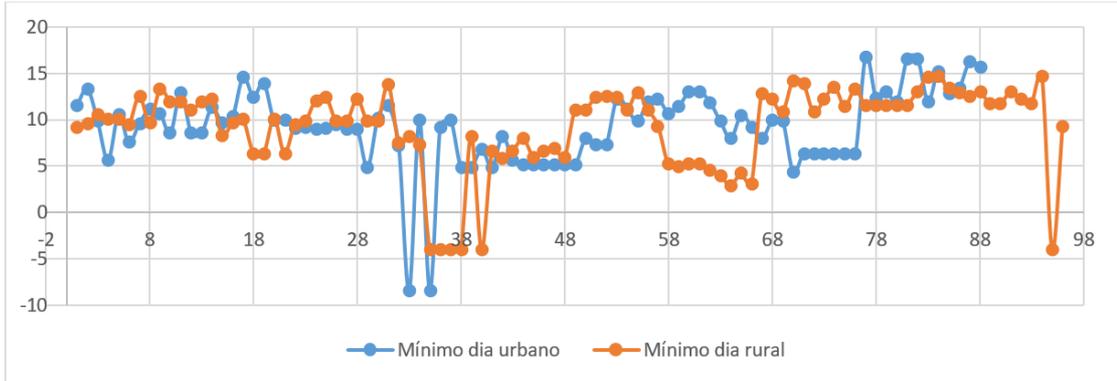
urbano que en la inercia térmica, como señalan (Zhao, Zhou y Liu en 2016). Estos resultados resaltan la importancia de considerar la dinámica diurna y nocturna de la Temperatura de la Superficie Terrestre al analizar los impactos de la urbanización en el balance térmico de una región.

#### **4.4 Análisis de la LST para valores mínimos de los grupos de análisis entre el periodo 2002 – 2022.**

El comportamiento de la Temperatura de la Superficie Terrestre (LST) en los puntos analizados en el área rural durante el día presenta valores mínimos en las zonas con vegetación de bosque consolidado. Por otro lado, los valores máximos se encuentran en áreas con cultivos, mientras que puntos ubicados en polígonos de explotación minera, donde se observa suelo desnudo, generan valores altos de LST en las áreas rurales. Los valores mínimos para este grupo analizado oscilan entre -3.97 y 14.68 grados Celsius.

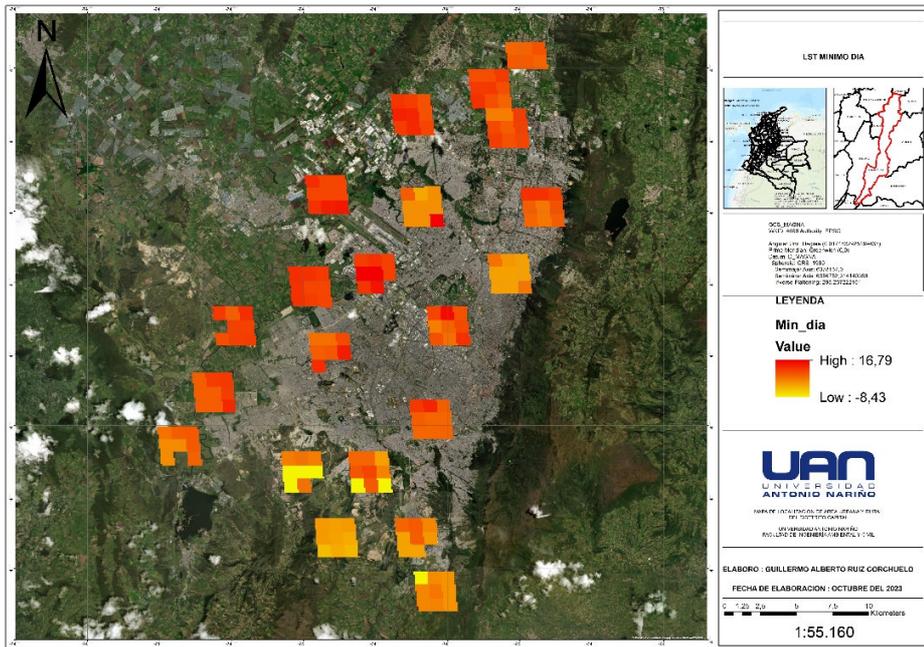
En relación con los valores mínimos de LST durante el día en el área urbana, se observa que estos están cerca de bosques urbanos o cuerpos de agua como ríos y quebradas. A medida que estos espacios son ocupados, se observa un aumento en la LST en los valores mínimos y máximos del área urbana. Estos valores mínimos oscilan entre -8.42 y 16.79 grados Celsius. Actividades agropecuarias con baja ocupación humana, la presencia de suelos rocosos, estructuras y vías pueden contribuir a esta variación, según indica el estudio de Santhosh and Shilpa en 2023. Este análisis detallado de la distribución de los valores de LST resalta la influencia de diferentes características del entorno en las temperaturas superficiales del suelo en áreas rurales y urbanas Figura 15.

Figura 3 Mínimos urbano y rural día fuente: AUTOR



Nota: La figura 13 muestra los datos mínimos día de la LST para las coberturas urbana y rural.

Figura 14 temperatura superficial terrestre mínimos día.

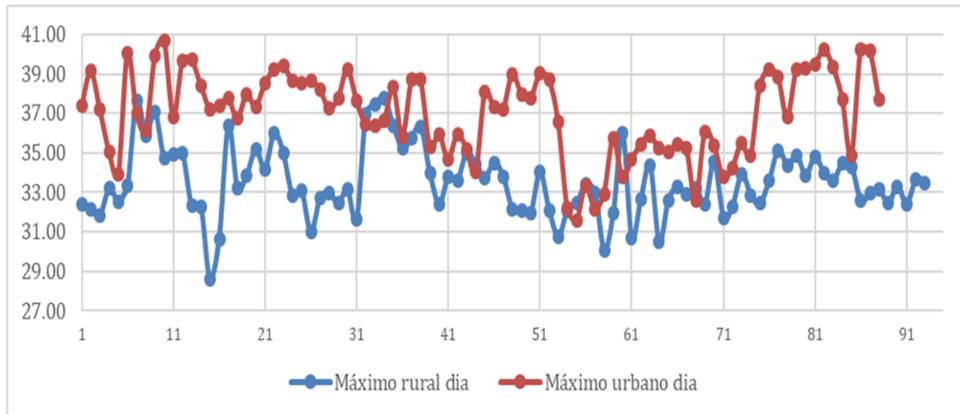


Nota: La figura 14 muestra la distribución espacial de los datos mínimos día de la LST para las coberturas urbana y rural.

#### **4.5 Análisis (LST) para valores máximos de los grupos de análisis entre el periodo 2002 – 2022.**

El comportamiento de LST para los valores máximos de los grupos de análisis en la cobertura rural día oscilan entre 37.77 y 28.59 grados Celsius para los datos de noche en las cobertura rural oscilan entre 15.35 y 8.5 Figura 18, la tendencia entre las coberturas en la noche es predominante que el enfriamiento de la LST se da en la cobertura rural teniendo menores valores de temperatura respecto a la urbana estos picos se dan en las agrupaciones donde predominan edificaciones homogéneas y para las agrupaciones con mayor temperatura en la cobertura rural son las que han tenido alguna intervención antrópica que ha causado suelo desnudo, con mayor albedo superficial, disminución de la capacidad calorífica y conductividad (Lemoine-Rodríguez, Inostroza, and Zepp 2022). Las actividades agrícolas, con la utilización de fertilizantes químicos, el riego y el mismo desarrollo de los cultivos generar cambios estacionales y alteran la LST del suelo en periodos de sequía (Yin et al. 2023). De esta manera, se evidencia la relación entre las coberturas y la LST para monitorear el calentamiento global teniendo en cuenta las actividades agropecuarias en la cual se transforma el paisaje alterando los flujos de calor entre atmosfera y superficie, que a través de la transformación de las características de la vegetación pueden llegar a alterar los flujos de calor entre la superficie y la atmósfera, (Carvajal and Pabón 2014).

Figura 15 Máximos urbano y rural día fuente: AUTOR



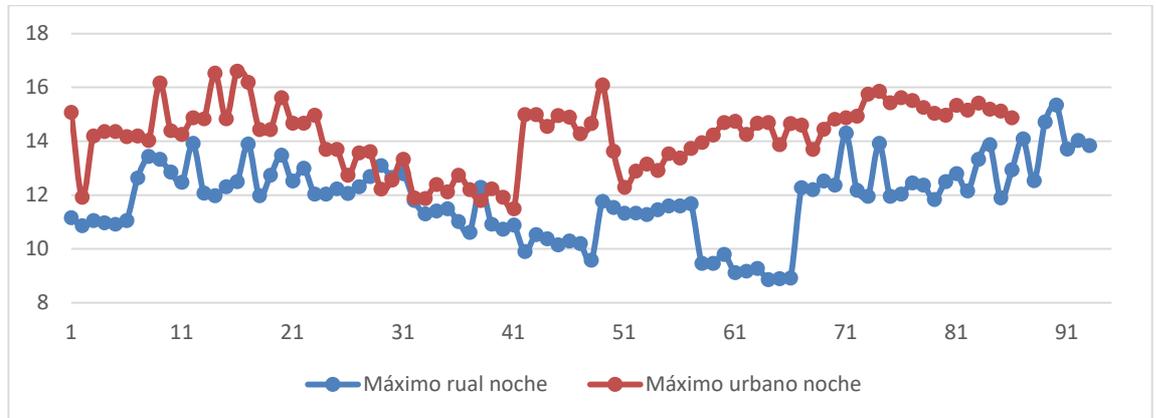
*Nota: La figura 15 muestra los datos máximos día de la LST para las coberturas urbana y rural.*

Figura 16 temperatura superficial terrestre máximos día



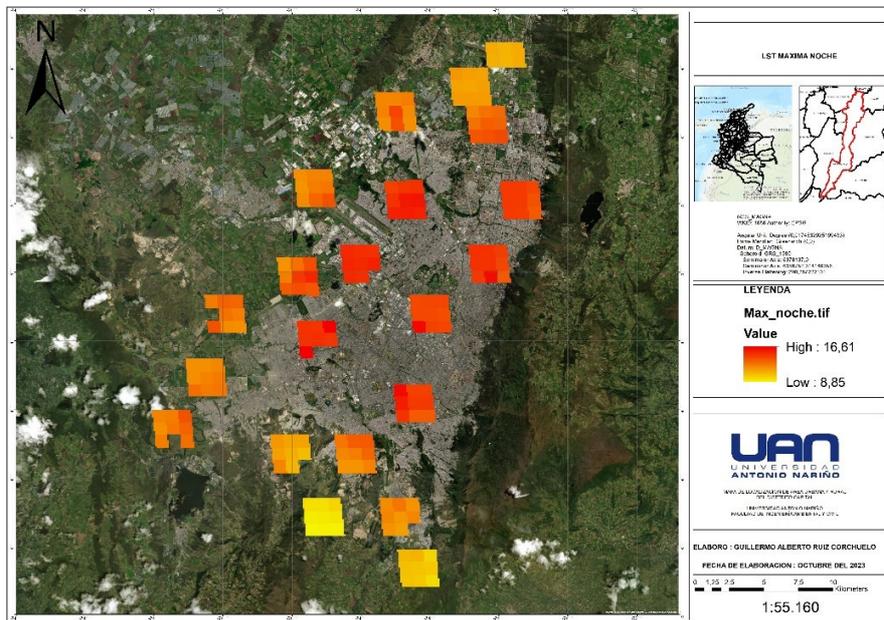
*Nota: La figura 16 muestra la distribución espacial de los datos máximos día de la LST para las coberturas urbana y rural.*

Figura 17 Máximos urbano y rural noche fuente: AUTOR



*Nota: La figura muestra los datos máximos noche de la LST para las coberturas urbana y rural.*

Figura 18 Máximos urbano y rural noche fuente: AUTOR



*Nota: La figura 18 muestra la distribución espacial de los datos máximos noche de la LST para las coberturas urbana y rural.*

#### 4.6 Análisis de Varianza de ET por Temporalidad Mensual en Coberturas urbana y rural.

El análisis estadístico descriptivo resumen las características de las variables como su comportamiento, en la tabla 3 se describe las medidas de distribución de los datos como es la asimetría y kurtosis, que es un indicativo de la forma que se distribuyen los datos respectó al valor medio de la serie de datos, y a la vez en análisis estadístico de la desviación estándar que nos permite visualizar el grado de dispersión de los mismo respecto a la media.

La kurtosis para los datos de la noche en la cobertura rural son positivas indicando que la distribución de los datos es elevada, concuerda con la temporada seca que se registra en Bogotá y la sabana de Bogotá, sin embargo, para el periodo nocturno la kurtosis cambia debido al proceso de enfriamiento nocturno, pero para la cobertura urbana la kurtosis es superior al rural debido albedo de los materiales de la cobertura urbana.

Para el día el comportamiento de la kurtosis en la cobertura rural es positiva en el primer semestre con valores entre 0.02 y 1.4 tabla 3 los cuales son levemente por encima elevada de los datos medios, para la cobertura urbana sin embargo para todos los meses de año son negativos valores que oscilan entre -0.59 y -1.25 tiene una distribución relativamente plana.

Tabla 3 datos mínimos, máximos, medios, desviación estándar y kurtosis para la LST cobertura urbana y rural de día y noche.

Tabla 2 Resumen estadístico cobertura rural

	LST Noche rural							LST dia rural					
	Mmedia	D.E.	Mín	Máy	Asimetría	Kurtosis		Media	D.E.	Mín	Máy	Asimetría	Kurtosis
enero	6.62	0.71	4.80	8.26	-0.51	0.13	enero	24.08	1.71	19.58	26.30	-1.11	0.23
febrero	6.71	0.78	5.07	8.20	-0.38	-0.71	febrero	24.98	1.58	20.30	27.59	-1.19	1.01
marzo	6.88	0.72	5.06	8.47	-0.63	-0.03	marzo	24.88	1.45	20.59	27.23	-1.28	1.04
abril	6.49	0.76	4.72	8.15	-0.49	0.02	abril	23.22	1.56	18.68	25.85	-1.21	0.85

mayo	6.09	0.86	3.97	7.60	-0.92	0.08	mayo	21.88	1.60	17.61	24.25	-0.98	0.20
junio	5.93	0.89	3.98	7.99	-0.67	-0.18	junio	20.49	2.01	15.38	22.79	-1.17	0.02
julio	5.51	0.85	3.59	7.09	-0.77	-0.30	julio	20.48	1.97	15.37	23.57	-1.08	-0.03
agosto	4.98	0.70	3.49	6.34	-0.05	-0.66	agosto	22.18	2.13	16.98	25.50	-0.96	-0.15
septiembre	5.52	0.64	4.32	6.85	0.03	-0.69	septiembre	24.10	2.11	18.69	28.19	-1.09	0.20
octubre	5.96	0.74	4.36	8.02	-0.04	-0.27	octubre	23.89	1.84	19.50	27.23	-0.80	-0.18
noviembre	6.50	0.67	5.07	8.07	-0.08	-0.84	noviembre	22.06	1.76	17.83	24.72	-1.04	-0.14
diciembre	6.80	0.69	4.96	8.27	-0.79	0.17	diciembre	22.72	1.77	18.49	25.22	-1.04	-0.06

Tabla 3 Resumen estadístico cobertura urbana

	LST Noche urbana						LST día urbana					
	Media	D.E.	Mín	Máy	Asimetría	Kurtosis	Media	D.E.	Mín	Máy	Asimetría	Kurtosis
enero	9.82	1.03	7.16	11.25	-1.09	0.02	27.38	1.41	24.26	29.94	-0.30	-0.69
febrero	9.62	0.98	7.20	11.15	-0.74	-0.36	27.99	1.44	24.27	30.29	-0.69	-0.38
marzo	9.51	0.98	6.91	11.06	-0.90	-0.02	27.85	1.41	24.83	31.01	-0.12	-0.58
abril	9.06	0.80	6.92	10.24	-0.62	-0.63	27.17	1.34	23.91	29.82	-0.07	-0.47
mayo	8.19	1.02	4.93	9.44	-1.26	0.99	25.87	1.96	21.51	29.76	0.03	-1.03
junio	8.41	0.98	5.71	9.68	-1.10	0.18	24.09	1.84	20.54	27.18	-0.27	-1.10
julio	7.67	0.86	5.18	8.93	-1.06	0.56	24.18	1.75	20.26	26.84	-0.31	-0.82
agosto	7.57	0.88	5.22	9.13	-0.74	0.00	25.96	2.05	22.14	29.15	-0.22	-1.25
septiembre	8.68	0.94	6.21	9.87	-1.05	-0.12	28.46	1.81	25.06	32.36	0.21	-0.94
octubre	8.71	0.95	6.12	10.02	-1.04	0.15	27.73	1.61	24.24	31.12	-0.02	-0.59
noviembre	8.63	0.84	6.65	10.50	-0.36	-0.33	25.75	1.68	22.53	29.17	0.04	-1.02
diciembre	9.61	0.89	7.10	10.93	-1.12	0.39	26.50	1.68	23.55	29.51	-0.03	-1.16

Para el día el comportamiento de la kurtosis en la cobertura rural es positiva en el primer semestre con valores entre 0.02 y 1.4 los cuales son levemente por encima elevada de los datos medios, para la cobertura urbana sin embargo para todos los meses de año son negativos valores que oscilan entre -0.59 y -1.25 tiene una distribución relativamente plana.

Tabla 4 datos mínimos, máximos, medios, desviación estándar y kurtosis para la LST cobertura urbana y rural de día y noche.

## 5. Conclusiones

En relación con la cobertura rural, los datos diurnos muestran una temperatura máxima de 37,73 °C y una mínima de -3,97 °C, con un promedio de 23,03 °C. Para las horas nocturnas, la temperatura máxima es de 15,35 °C, la mínima de -36,79 °C, y un promedio de 6,17 °C.

Por otro lado, en la cobertura urbana durante el día, las temperaturas oscilan entre una máxima de 40,71 °C y una mínima de -8,43 °C, con un promedio de 36,96 °C. En las horas nocturnas, la temperatura máxima es de 16,61 °C, la mínima de -24,1 °C, y un promedio de 8,78 °C.

Al analizar las temperaturas diurnas en ambas coberturas, la urbana muestra valores máximos significativamente superiores, con una diferencia de 1,23 grados Celsius.

Además, se observa un aumento en el enfriamiento entre el día y la noche en las áreas urbanas durante el periodo evaluado, mientras que en las zonas rurales se evidencia una ligera disminución.

En particular, la presencia de áreas arboladas en la cobertura urbana influye en la disminución de la Temperatura Superficial de la Tierra (LST), destacando los puntos de la tesela 21 y 6 urbana, con valores máximos de 33,1 °C durante el día y nocturnos en la LST.

En términos de diferencia entre las temperaturas diurnas de las coberturas urbanas y rurales, se registró un aumento de 3,56 grados Celsius durante el período evaluado. Durante las horas nocturnas, la diferencia fue de 2,58 grados Celsius. Estos resultados respaldan la idea de que la precisión de la predicción de la LST urbana y sus aplicaciones prácticas pueden beneficiarse significativamente al tener en cuenta los matices rurales en el paisaje.

Las diferencias térmicas entre entornos urbanos y rurales no solo afectan el microclima local, sino que también influyen de manera crucial en la calidad del aire y en el consumo de energía. Comprender estos patrones térmicos no solo es fundamental para una planificación urbana más efectiva, sino que también constituye una herramienta esencial para desarrollar estrategias de mitigación. Estas estrategias, orientadas a contrarrestar los efectos adversos del aumento de las temperaturas en los entornos urbanos, se tornan indispensables para promover ciudades sostenibles y resistentes al cambio climático.

## 6. Recomendaciones.

La importancia de utilizar herramientas de teledetección, que son accesibles y ampliamente disponibles. Sin embargo, destaca la necesidad de complementar estos datos con mediciones terrestres utilizando instrumentos específicos, como el termómetro de infrarrojos de mano (IRT). El propósito de estas mediciones terrestres sería verificar y contrastar los resultados proporcionados por productos como MOD11, que se utilizan para calcular la Temperatura Superficial de la Tierra (LST).

Además, de emplear diversas herramientas de teledetección para evaluar cuál es la más adecuada en el estudio de las diferentes variables del medio físico. Este enfoque integrado busca garantizar la precisión y fiabilidad de los datos recopilados, reconociendo que la combinación de mediciones terrestres y datos satelitales puede proporcionar una visión más completa y robusta del entorno físico en estudio.

## REFERENCIAS

- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022a). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42539–42559. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>
- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022b). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42539–42559. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>
- Adjovu, G. E., Stephen, H., James, D., & Ahmad, S. (2023). Overview of the Application of Remote Sensing in Effective Monitoring of Water Quality Parameters. *Remote Sensing*, 15(7), 1938. <https://doi.org/10.3390/rs15071938>
- Alimonti, G., Mariani, L., Prodi, F., & Ricci, R. A. (2022). A critical assessment of extreme events trends in times of global warming. *The European Physical Journal Plus*, 137(1), 112. <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-021-02243-9>
- Angel, S. (2023). Urban expansion: theory, evidence and practice. *Buildings and Cities*, 4(1), 124–138. <https://doi.org/10.5334/bc.348>
- Anpilova, Y., Hordiienko, O., Horbulin, V., Trofymchuk, O., & Yakovliev, Y. (2021). The use active sensors of remote sensing to describe structures and landscape changes in Solotvyno. *Geoinformatics*, 1–7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521018>
- Approaches, Theoretical. 2008. «Éxodos rurales y urbanización en Colombia. PERSPECTIVA HISTÓRICA Y APROXIMACIONES TEÓRICAS». *Revista Bitácora Urbano Territorial* 13(2): 57-72.
- Atkinson, C. L., & Atkinson, A. M. (2023). Impacts of Climate Change on Rural Communities: Vulnerability and Adaptation in the Global South. *Encyclopedia*, 3(2), 721–729. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3020052>
- Aune-Lundberg, L., & Strand, G.-H. (2021). The content and accuracy of the CORINE Land Cover dataset for Norway. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 96, 102266. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102266>
- Awais, M., Li, W., Hussain, S., Cheema, M. J. M., Li, W., Song, R., & Liu, C. (2022). Comparative Evaluation of Land Surface Temperature Images from Unmanned Aerial Vehicle and Satellite Observation for Agricultural Areas Using In Situ Data. *Agriculture*, 12(2), 184. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020184>

- Azmi, R., Tekouabou, C., Diop, E. B., & Chenal, J. (2021). Exploring the relationship between urban form and land surface temperature (LST) in a semi-arid region case study of Ben Guerir city - Morocco. *Environmental Challenges*, 5, 100229. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100229>
- Barati, A. A., Zhoolideh, M., Azadi, H., Lee, J.-H., & Scheffran, J. (2023). Interactions of land-use cover and climate change at global level: How to mitigate the environmental risks and warming effects. *Ecological Indicators*, 146, 109829. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109829>
- Calizaya, E., Laqui, W., Sardón, S., Calizaya, F., Cuentas, O., Cahuana, J., Mindani, C., & Huacani, W. (2023). Snow Cover Temporal Dynamic Using MODIS Product, and Its Relationship with Precipitation and Temperature in the Tropical Andean Glaciers in the Alto Santa Sub-Basin (Peru). *Sustainability*, 15(9), 7610. <https://doi.org/10.3390/su15097610>
- Cao, Z. (2020). Assessment methods for air pollution exposure. In *Spatiotemporal Analysis of Air Pollution and Its Application in Public Health* (pp. 197–206). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815822-7.00009-1>
- Cianconi, P., Hanife, B., Grillo, F., Zhang, K., & Janiri, L. (2021). Human Responses and Adaptation in a Changing Climate: A Framework Integrating Biological, Psychological, and Behavioural Aspects. *Life*, 11(9), 895. <https://doi.org/10.3390/life11090895>
- Davies, M., Steadman, P., & Oreszczyn, T. (2008). Strategies for the modification of the urban climate and the consequent impact on building energy use. *Energy Policy*, 36(12), 4548–4551. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.013>
- Donlon, C. J., & Ma, K. (2019). IR Radiometers. In *Encyclopedia of Ocean Sciences* (pp. 120–132). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11554-4>
- dos Santos, R., & de Costa, M. (2018). Urban heat island analysis using the ‘local climate zone’ scheme in Presidente Prudente, Brazil. *Investigaciones Geográficas*, 69, 107–118.
- Duan, S.-B., Han, X.-J., Huang, C., Li, Z.-L., Wu, H., Qian, Y., Gao, M., & Leng, P. (2020). Land Surface Temperature Retrieval from Passive Microwave Satellite Observations: State-of-the-Art and Future Directions. *Remote Sensing*, 12(16), 2573. <https://doi.org/10.3390/rs12162573>
- Dursun, F., Zorlu, K., & Gül, M. (2022). Using satellite imagery to assess the changes in land use and land cover in Diyarbakır city (SE Turkey). *Earth Sciences Research Journal*, 26(2), 119–130. <https://doi.org/10.15446/esrj.v26n2.92417>

- Esha, Eshrat Jahan, y Afzal Ahmed. 2018. «Impacts of land use and land cover change on surface temperature in the north-western region of Bangladesh». 5th IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference 2017, R10-HTC 2017 2018-Janua(200523): 318-21.
- Fawzy, S., Osman, A. I., Doran, J., & Rooney, D. W. (2020). Strategies for mitigation of climate change: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(6), 2069–2094. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01059-w>
- Gebre, T., & Gebremedhin, B. (2019). The mutual benefits of promoting rural-urban interdependence through linked ecosystem services. *Global Ecology and Conservation*, 20, e00707. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00707>
- Giyasova, I. (2021). Factors affecting microclimatic conditions in urban environment. *E3S Web of Conferences*, 244, 06010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124406010>
- Gorjian, S., & Ebadi, H. (2020). Introduction. In *Photovoltaic Solar Energy Conversion* (pp. 1–26). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819610-6.00001-6>
- Gonzalo Hurtado, M. 2012. «Análisis del comportamiento promedio y tendencias de largo plazo de la temperatura maxima media para las regiones hidroclimaticas de Colombia». IDEAM Instituto de Hidrologia Meteorologia y Estudios Ambientales: 61.
- Hagen, M., & Azevedo, A. (2023). Influence of Volcanic Activity on Weather and Climate Changes. *Atmospheric and Climate Sciences*, 13(02), 138–158. <https://doi.org/10.4236/acs.2023.132009>
- Huang, H., Li, Y., Zhao, Y., & Zhai, W. (2022). Analysis of the impact of urban summer high temperatures and outdoor activity duration on residents' emotional health: Taking hostility as an example. *Frontiers in Public Health*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.955077>
- Jafarbiglu, H., & Pourreza, A. (2022). A comprehensive review of remote sensing platforms, sensors, and applications in nut crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 197, 106844. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106844>
- Jimenez-Munoz, J. C., Sobrino, J. A., Skokovic, D., Mattar, C., & Cristobal, J. (2014). Land Surface Temperature Retrieval Methods From Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(10), 1840–1843. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2014.2312032>
- Jia, Wenxiao, y Shuqing Zhao. 2020. «Trends and drivers of land surface temperature along the urban-rural gradients in the largest urban agglomeration of China». *Science of the Total Environment* 711.

- Johnson, J. M.-F., Franzluebbbers, A. J., Weyers, S. L., & Reicosky, D. C. (2007). Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environmental Pollution*, 150(1), 107–124. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.030>
- Li, H., Harvey, J., & Ge, Z. (2014). Experimental investigation on evaporation rate for enhancing evaporative cooling effect of permeable pavement materials. *Construction and Building Materials*, 65, 367–375. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.004>
- Li, J., Pei, Y., Zhao, S., Xiao, R., Sang, X., & Zhang, C. (2020). A Review of Remote Sensing for Environmental Monitoring in China. *Remote Sensing*, 12(7), 1130. <https://doi.org/10.3390/rs12071130>
- Lischeid, G. (2014). *Landscape Hydrology of Rural Areas: Challenges and Tools* (pp. 107–113). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-01017-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-01017-5_5)
- Lemoine-Rodríguez, Richard, Luis Inostroza, y Harald Zepp. 2022. «Does urban climate follow urban form? Analysing intraurban LST trajectories versus urban form trends in 3 cities with different background climates». *Science of the Total Environment* 830.
- Luo, Y., Trishchenko, A., & Khlopenkov, K. (2008). Developing clear-sky, cloud and cloud shadow mask for producing clear-sky composites at 250-meter spatial resolution for the seven MODIS land bands over Canada and North America. *Remote Sensing of Environment*, 112(12), 4167–4185. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.06.010>
- Mather, T. A. (2015). Volcanoes and the environment: Lessons for understanding Earth's past and future from studies of present-day volcanic emissions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 304, 160–179. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.08.016>
- McGain, F., Burnham, J. P., Lau, R., Aye, L., Kollef, M. H., & McAlister, S. (2018). The carbon footprint of treating patients with septic shock in the intensive care unit. *Critical Care and Resuscitation : Journal of the Australasian Academy of Critical Care Medicine*, 20(4), 304–312.
- McPhaden, M. J., Santoso, A., & Cai, W. (2020). Introduction to El Niño Southern Oscillation in a Changing Climate (pp. 1–19). <https://doi.org/10.1002/9781119548164.ch1>
- Meuser, E., Mooers, A. Ø., & Cleary, D. F. R. (2013). El Niño and Biodiversity. In *Encyclopedia of Biodiversity* (pp. 155–163). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00235-5>
- Milesi, C., & Churkina, G. (2020). Measuring and Monitoring Urban Impacts on Climate Change from Space. *Remote Sensing*, 12(21), 3494. <https://doi.org/10.3390/rs12213494>

- Molina-Gómez, N. I., Varon-Bravo, L. M., Sierra-Parada, R., & López-Jiménez, P. A. (2022). Urban growth and heat islands: A case study in micro-territories for urban sustainability. *Urban Ecosystems*, 25(5), 1379–1397. <https://doi.org/10.1007/s11252-022-01232-9>
- Myhre, G., Myhre, C., Samset, B., & Storelvmo, T. (2013). Aerosols and their Relation to Global Climate and Climate Sensitivity. *Nature Education Knowledge*, 4(5).
- NASA. (2023). About MODIS. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.
- Nedd, R., Light, K., Owens, M., James, N., Johnson, E., & Anandhi, A. (2021). A Synthesis of Land Use/Land Cover Studies: Definitions, Classification Systems, Meta-Studies, Challenges and Knowledge Gaps on a Global Landscape. *Land*, 10(9), 994. <https://doi.org/10.3390/land10090994>
- Nunes, L. J. R. (2023). The Rising Threat of Atmospheric CO<sub>2</sub>: A Review on the Causes, Impacts, and Mitigation Strategies. *Environments*, 10(4), 66. <https://doi.org/10.3390/environments10040066>
- O'Neill, G. R., & Broccoli, A. J. (2021). Orbital Influences on Conditions Favorable for Glacial Inception. *Geophysical Research Letters*, 48(21). <https://doi.org/10.1029/2021GL094290>
- Payra, S., Sharma, A., & Verma, S. (2023). Application of remote sensing to study forest fires. In *Atmospheric Remote Sensing* (pp. 239–260). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99262-6.00015-8>
- Pilant, A., Endres, K., Rosenbaum, D., & Gundersen, G. (2020). US EPA EnviroAtlas Meter-Scale Urban Land Cover (MULC): 1-m Pixel Land Cover Class Definitions and Guidance. *Remote Sensing*, 12(12), 1909. <https://doi.org/10.3390/rs12121909>
- Quimbayo Ruiz, G. A., Kotilainen, J., & Salo, M. (2020). Reterritorialization practices and strategies of campesinos in the urban frontier of Bogotá, Colombia. *Land Use Policy*, 99, 105058. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105058>
- Ramírez-Aguilar, E. A., & Lucas Souza, L. C. (2019). Urban form and population density: Influences on Urban Heat Island intensities in Bogotá, Colombia. *Urban Climate*, 29, 100497. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100497>
- Rao, P., Tassinari, P., & Torreggiani, D. (2023). Exploring the land-use urban heat island nexus under climate change conditions using machine learning approach: A spatio-temporal analysis of remotely sensed data. *Heliyon*, 9(8), e18423. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18423>

- Rashid, N., Alam, J. A. M. M., Chowdhury, Md. A., & Islam, S. L. U. (2022). Impact of land use change and urbanization on urban heat island effect in Narayanganj city, Bangladesh: A remote sensing-based estimation. *Environmental Challenges*, 8, 100571. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100571>
- Nichol, J. E. 1994. «A GIS-based approach to microclimate monitoring in Singapore's high-rise housing estates». *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 60(10): 1225-32.
- Salas, C., & Coy, D. (2019). Analisis espacial de islas de calor en la ciudad de Bogotá: los efectos de la urbanización, un estudio desde la teledetección. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Santhosh, Lakkur Gurunarayan, y Devanahalli Nagaraj Shilpa. 2023. «Assessment of LULC change dynamics and its relationship with LST and spectral indices in a rural area of Bengaluru district, Karnataka India». *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 29(July 2022): 100886. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100886>.
- Santos, F. D., Ferreira, P. L., & Pedersen, J. S. T. (2022). The Climate Change Challenge: A Review of the Barriers and Solutions to Deliver a Paris Solution. *Climate*, 10(5), 75. <https://doi.org/10.3390/cli10050075>
- Sayão, V. M., Demattê, J. A. M., Bedin, L. G., Nanni, M. R., & Rizzo, R. (2018). Satellite land surface temperature and reflectance related with soil attributes. *Geoderma*, 325, 125–140. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.026>
- Shivanna, K. R. (2022). Climate change and its impact on biodiversity and human welfare. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 88(2), 160–171. <https://doi.org/10.1007/s43538-022-00073-6>
- Surya, B., Salim, A., Hernita, H., Suriani, S., Menne, F., & Rasyidi, E. S. (2021). Land Use Change, Urban Agglomeration, and Urban Sprawl: A Sustainable Development Perspective of Makassar City, Indonesia. *Land*, 10(6), 556. <https://doi.org/10.3390/land10060556>
- Tabatabaei, S. S., & Fayaz, R. (2023). The effect of facade materials and coatings on urban heat island mitigation and outdoor thermal comfort in hot semi-arid climate. *Building and Environment*, 243, 110701. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110701>
- Unidad Administrativa de Catastro Distrital. 2023. Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) de Bogotá. <https://mapas.bogota.gov.co/#>
- Vujovic, S., Haddad, B., Karaky, H., Sebaibi, N., & Boutouil, M. (2021). Urban Heat Island: Causes, Consequences, and Mitigation Measures with Emphasis on Reflective and Permeable Pavements. *CivilEng*, 2(2), 459–484. <https://doi.org/10.3390/civileng2020026>

- Wang, W., Wu, T., Li, Y., Xie, S., Han, B., Zheng, H., & Ouyang, Z. (2020). Urbanization Impacts on Natural Habitat and Ecosystem Services in the Guangdong-Hong Kong-Macao “Megacity.” *Sustainability*, 12(16), 6675. <https://doi.org/10.3390/su12166675>
- Wang, Z., Sui, L., & Zhang, S. (2022). Generating Daily Land Surface Temperature Downscaling Data Based on Sentinel-3 Images. *Remote Sensing*, 14(22), 5752. <https://doi.org/10.3390/rs14225752>
- Weiskopf, S. R., Rubenstein, M. A., Crozier, L. G., Gaichas, S., Griffis, R., Halofsky, J. E., Hyde, K. J. W., Morelli, T. L., Morissette, J. T., Muñoz, R. C., Pershing, A. J., Peterson, D. L., Poudel, R., Staudinger, M. D., Sutton-Grier, A. E., Thompson, L., Vose, J., Weltzin, J. F., & Whyte, K. P. (2020). Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. *Science of The Total Environment*, 733, 137782. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137782>
- Weng, Qihao, y Robert C. Larson. 2005. «Satellite remote sensing of urban heat islands: Current practice and prospects». *Geo-Spatial Technologies in Urban Environments*: 91-111.
- Wild, M. (2012). Solar Radiation Versus Climate Change. In *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology* (pp. 9731–9740). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3\\_448](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3_448)
- Wineman, A., Alia, D. Y., & Anderson, C. L. (2020). Definitions of “rural” and “urban” and understandings of economic transformation: Evidence from Tanzania. *Journal of Rural Studies*, 79, 254–268. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.08.014>
- Xiong, X., & Butler, J. J. (2020). MODIS and VIIRS Calibration History and Future Outlook. *Remote Sensing*, 12(16), 2523. <https://doi.org/10.3390/rs12162523>
- Yin, Peiyi et al. 2023. «A comprehensive analysis of the crop effect on the urban-rural differences in land surface phenology». *Science of the Total Environment* 861(October 2022): 160604. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160604>.
- Yin, Z., Liu, Z., Liu, X., Zheng, W., & Yin, L. (2023). Urban heat islands and their effects on thermal comfort in the US: New York and New Jersey. *Ecological Indicators*, 154, 110765. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110765>
- Yu, D., & Fang, C. (2023). Urban Remote Sensing with Spatial Big Data: A Review and Renewed Perspective of Urban Studies in Recent Decades. *Remote Sensing*, 15(5), 1307. <https://doi.org/10.3390/rs15051307>

Yusriadi, Y., & Cahaya, A. (2022). Food security systems in rural communities: A qualitative study. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.987853>

Zhang, X., Kasimu, A., Liang, H., Wei, B., & Aizizi, Y. (2022). Spatial and Temporal Variation of Land Surface Temperature and Its Spatially Heterogeneous Response in the Urban Agglomeration on the Northern Slopes of the Tianshan Mountains, Northwest China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20), 13067. <https://doi.org/10.3390/ijerph192013067>

Zhao, Shuqing, Decheng Zhou, y Shuguang Liu. 2016. «Data concurrency is required for estimating urban heat island intensity». *Environmental Pollution* 208: 118-24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2015.07.037>.

Zhang, Z., & Moore, J. C. (2015). Remote Sensing. In *Mathematical and Physical Fundamentals of Climate Change* (pp. 111–124). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800066-3.00004-8>

Zhu, Z., Qiu, S., & Ye, S. (2022). Remote sensing of land change: A multifaceted perspective. *Remote Sensing of Environment*, 282, 113266. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113266>