

# Impacto de la morfología urbana y la trama verde en la temperatura del Corredor Biológico Interurbano María Aguilar, Gran Área Metropolitana de Costa Rica

Juan Sebastián Vargas-Montero

Magister Scientiae en Diseño y Construcción Sostenible  
Instituto Tecnológico de Costa Rica  
✉ jsvargasm@gmail.com

---

## Resumen:

Este artículo presenta los principales hallazgos de la investigación realizada en el trabajo final de graduación titulado “Impacto de la morfología urbana y la trama verde en la temperatura de la microcuenca del río María Aguilar, Gran Área Metropolitana de Costa Rica”, vinculado a la Maestría en Diseño y Construcción Sostenible del Instituto Tecnológico de Costa Rica. En este trabajo se exploró cómo la configuración de la ciudad y la distribución de las áreas verdes influyen en la temperatura del Corredor Biológico Interurbano María Aguilar (CBIMA), una zona altamente urbanizada y con pocas áreas verdes. Utilizando sistemas de información geográfica (SIG) y teledetección, se analizó el impacto de la morfología urbana en la temperatura de la superficie terrestre (LST, por sus siglas en inglés). Los resultados mostraron claras diferencias de temperatura entre las zonas con vegetación y aquellas dominadas por construcciones. Además, se estudió cómo diferentes características de las áreas urbanas se relacionan con el fenómeno conocido como isla de calor urbana (ICU). También se evaluó el efecto refrescante de 20 espacios verdes en el CBIMA, encontrando que su capacidad de enfriar el entorno varía según sus características. Estos resultados ofrecen una mejor comprensión del impacto que la morfología urbana tiene en el calentamiento del CBIMA, con importantes implicaciones para promover una planificación urbana sostenible y resiliente.

**Palabras clave:** clima urbano, isla de calor urbana, infraestructura verde, planificación urbana, sistemas de información geográfica, teledetección.

## Abstract:

This article presents the main findings of the research conducted for the final graduation project titled “Impacto de la morfología urbana y la trama verde en la temperatura de la microcuenca del río María Aguilar, Gran Área Metropolitana de Costa Rica,” completed as part of the master’s program in Sustainable Design and Construction at the Instituto Tecnológico de Costa Rica. The research investigates how urban morphology and the distribution of green spaces influence land surface temperature (LST) within the María Aguilar Interurban Biological Corridor (CBIMA), a densely urbanized area characterized by limited green infrastructure. By leveraging Geographic Information Systems (GIS)

and remote sensing techniques, the study assessed the relationship between urban configuration and LST, uncovering significant temperature variations between vegetated areas and those dominated by built structures. Furthermore, the research explored how specific urban characteristics contribute to the urban heat island (UHI) effect. The cooling effect of 20 green spaces within the CBIMA was also evaluated, revealing that their capacity to lower surrounding temperatures varies depending on their specific features. These findings provide a deeper understanding of the impact of urban morphology on the warming of the CBIMA and provide valuable guidance for advancing sustainable and climate-resilient urban planning in highly urbanized regions.

**Keywords:** urban climate, urban heat island, green infrastructure, urban planning, geographic information systems, remote sensing.

## Introducción:

El diseño de las ciudades tiene un gran impacto en el clima local. Factores como la densidad de población, la cantidad de áreas pavimentadas y la falta de vegetación contribuyen a la creación de lo que se conoce como la isla de calor urbana (ICU). Este fenómeno ocurre cuando la urbanización modifica el entorno natural, haciendo que las ciudades absorban más calor y pierdan capacidad para enfriarse, lo que genera un aumento de las temperaturas. Con el cambio climático, este efecto se intensifica, llevando a un mayor consumo de energía, más emisiones de dióxido de carbono y una reducción de la calidad del aire. Esto afecta tanto la sostenibilidad de las ciudades como el bienestar de sus habitantes, lo que hace necesario buscar soluciones para mitigar el calentamiento urbano [1], [2].

En la Gran Área Metropolitana de Costa Rica (GAM), el rápido y desordenado crecimiento urbano ha llevado a un deterioro en el medio ambiente, donde gran parte de las áreas verdes han sido reemplazadas por construcciones, afectando la calidad de vida de las personas [3], [4]. El Corredor Biológico Interurbano María Aguilar (CBIMA) es un ejemplo de esta situación, donde la alta densidad poblacional y la escasez de espacios verdes agravan el efecto de ICU (Figura 1).

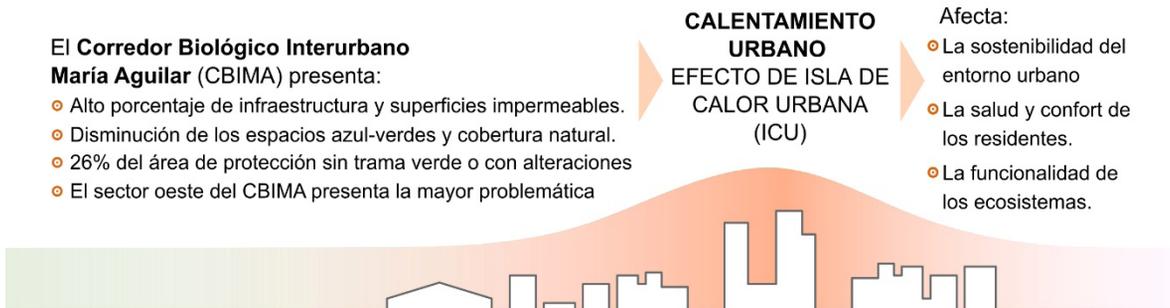


Figura 1. Factores que influyen en el calentamiento urbano de CBIMA [5].

Utilizando SIG (sistemas de información geográfica) y teledetección, la presente investigación analizó cómo la forma de la ciudad y la distribución de la vegetación afectan la temperatura del CBIMA; abordando un problema local y proponiendo una metodología que puede aplicarse en otras zonas urbanas, para promover soluciones de planificación urbana sostenible y resiliente, para ayudar a mitigar el calentamiento urbano.

## Método:

### Área de estudio:

El CBIMA abarca 3876,63 hectáreas y se extiende desde las zonas altas del cantón de La Unión, a 1630 metros sobre el nivel del mar, hasta su desembocadura en el río Tiribí, a 1030 metros sobre el nivel del mar. Esta área está densamente urbanizada y abarca cinco cantones (Figura 2). Su topografía es variada: en la parte baja predominan cañones con pendientes pronunciadas, mientras que en la cuenca media las pendientes son más suaves, aunque las riberas siguen siendo empinadas [6]. La urbanización desordenada ha resultado en una densa ocupación del territorio, con pocos espacios verdes y construcciones informales en las áreas de protección de los ríos, esto ha deteriorado la biodiversidad y los servicios ecosistémicos dentro del CBIMA [6].

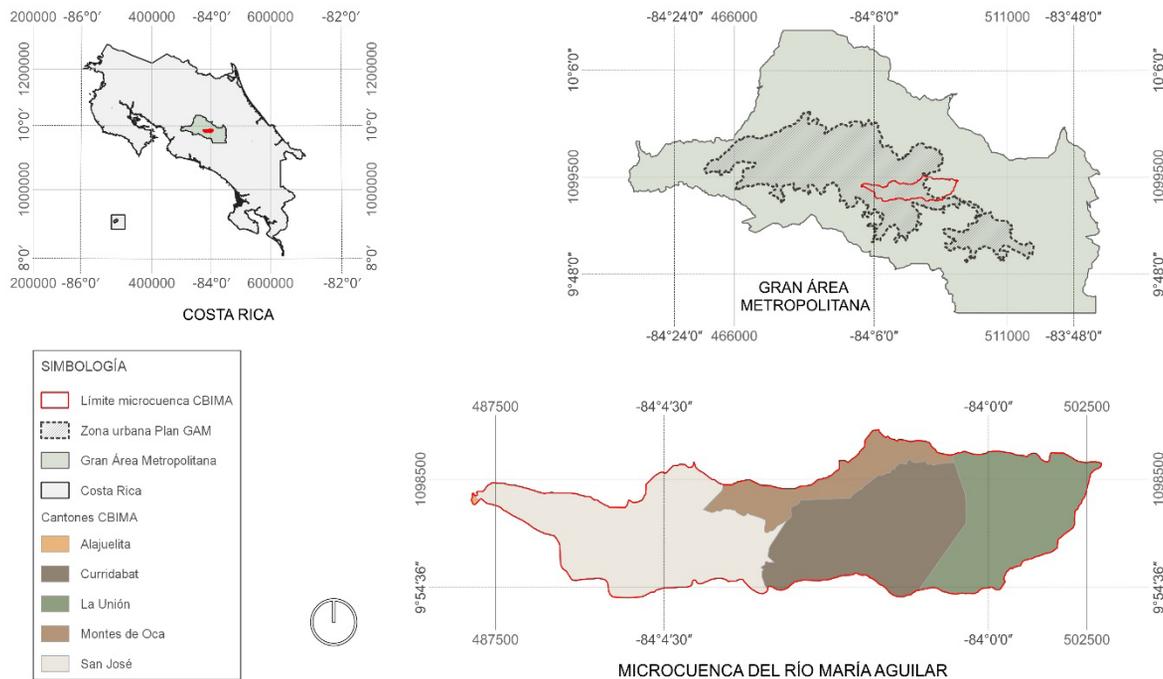


Figura 2. Ubicación y delimitación de la zona de estudio [5].

### LST, cobertura de la tierra y elevación del CBIMA (marzo 2023):

Se utilizó un código abierto modificado, publicado por Ermida et al. [7], para estimar la temperatura de la superficie terrestre (LST, por sus siglas en inglés) para marzo de 2023. La capa de LST del CBIMA fue generada desde la plataforma Google Earth Engine (GEE), utilizando imágenes satelitales Landsat8. GEE es una plataforma de Google que funciona en la nube y permite analizar y visualizar grandes cantidades de datos geográficos, como imágenes satelitales. GEE incluye un editor de código en línea donde se pueden crear análisis personalizados, lo que facilita su uso incluso sin equipos potentes. Al estar basado en la nube, permite trabajar con datos muy grandes, como los que se usan para estudiar cambios en la LST, de forma rápida y eficiente. Se puede ingresar a GEE desde <https://earthengine.google.com/>.

Se utilizaron las clasificaciones supervisadas de trama verde y usos de la tierra del CBIMA para el año 2021, realizadas por el Proyecto Paisajes Productivos en colaboración con el Ministerio de Ambiente y Energía [8]. Estas clasificaciones fueron actualizadas a marzo de 2023, utilizando imágenes satelitales

Sentinel-2 e imágenes de Google Earth. Se agruparon las coberturas de suelo en siete categorías: áreas verdes en zonas urbanas, bosques y áreas naturales, cuerpos de agua, cultivos permanentes, ganadería y pastos, áreas sin vegetación e infraestructura.

Para obtener un análisis más preciso, el área de estudio se dividió en cinco zonas según la altitud (de 1032 a 1626 metros sobre el nivel del mar), utilizando un modelo digital de elevación del Atlas Digital de Costa Rica 2014 [9]. Esta división permitió analizar cómo la altitud afecta la LST.

## Relación entre la LST, la cobertura verde y la infraestructura:

Se seleccionaron 900 puntos de muestreo para estudiar la relación entre la LST, la trama verde y la infraestructura. Usando RStudio, se realizaron análisis estadísticos descriptivos e inferenciales. RStudio es un programa que facilita trabajar con el lenguaje de programación R, usado para analizar datos y crear gráficos. Ofrece una interfaz sencilla que ayuda a escribir código, visualizar resultados y organizar proyectos de manera eficiente.

Para verificar la normalidad y homogeneidad de las varianzas se aplicaron las pruebas de Shapiro-Wilk y Bartlett. La prueba de Shapiro-Wilk se utiliza para comprobar si un conjunto de datos sigue una distribución normal, mientras que la prueba de Bartlett verifica si varios grupos de datos tienen varianzas iguales, lo cual es importante para elegir el análisis estadístico adecuado. Luego, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de Tukey para identificar diferencias significativas en las temperaturas según el tipo de cobertura. El ANOVA es una técnica estadística que compara las medias de tres o más grupos para determinar si existen diferencias significativas entre ellos. Las pruebas de Tukey se usan después de un ANOVA para identificar específicamente entre cuáles grupos existen diferencias significativas.

## Análisis de la morfología urbana mediante métricas del paisaje:

Se utilizó el complemento LecoS en QGIS, para calcular las métricas del paisaje y de fragmentos para las diferentes coberturas del área de estudio. QGIS es un programa gratuito que permite crear, analizar y visualizar mapas y datos geográficos. Dentro de QGIS, es posible instalar diferentes complementos, como LecoS (Landscape ecology analysis), el cual permite calcular métricas de paisaje básicas y avanzadas, proporcionando diferentes funciones para llevar a cabo análisis de paisaje dentro de modelos SIG. Posteriormente, se identificaron las métricas que más influían en la LST y se llevó a cabo una regresión lineal simple, con la LST media como variable dependiente y la métrica más influyente como predictor. Además, para comprender mejor cómo la configuración urbana influye en la ICU, se seleccionaron 18 zonas a escala local para hacer un análisis descriptivo de las métricas de paisaje, tomando en cuenta tanto áreas con alta intensidad de ICU como otras con baja intensidad.

## Estimación del efecto de enfriamiento de los espacios verdes urbanos:

Se analizaron 20 espacios verdes dentro del CBIMA (como parques, bosques y áreas naturales) para estudiar su capacidad de enfriamiento. Se calculó la LST media dentro de cada espacio y en su zona circundante (a 500 metros). Luego, se crearon anillos concéntricos a cada 30 metros para medir la LST en cada anillo, comparando las temperaturas entre los espacios verdes y sus alrededores. Este análisis, basado en la metodología de Arellano Ramos et al. [10], permitió estimar tanto la intensidad como la distancia máxima de enfriamiento de cada espacio. Se estableció una correlación entre el tamaño y el área de cobertura arbórea de los espacios verdes estudiados y su intensidad de enfriamiento.

## Resultados:

A partir de la capa de LST generada, se estimaron las temperaturas promedio por cantón y distrito. El cantón de San José registró la LST promedio más alta, con 40,29°C, destacándose por su alta densidad de infraestructura y superficies impermeables. Por otro lado, Alajuelita presentó la temperatura promedio más baja, con 32,07°C, seguido de La Unión con 32,74°C. En Alajuelita, la mayor parte del área estudiada forma parte de las zonas protegidas de los ríos, mientras que en La Unión hay menor densidad urbana, presentando mayor cobertura natural y permeable. Las figuras 3 y 4 muestran la distribución de la LST por cantón y distrito.

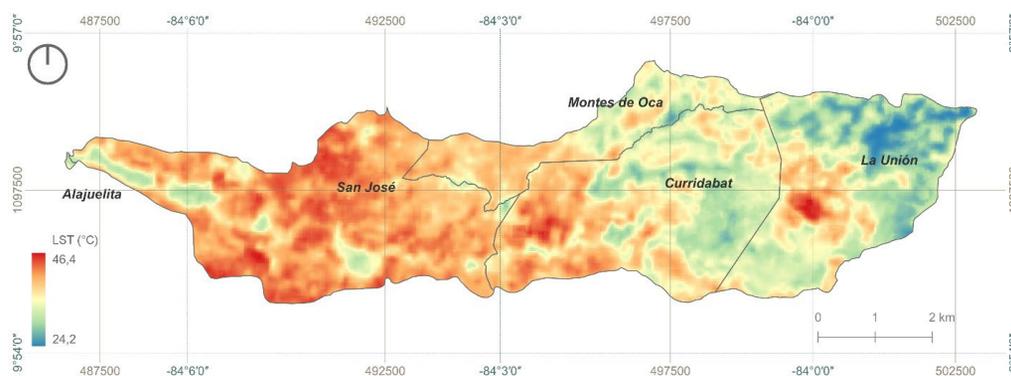


Figura 3. Distribución de LST por cantón (marzo,2023) [5].

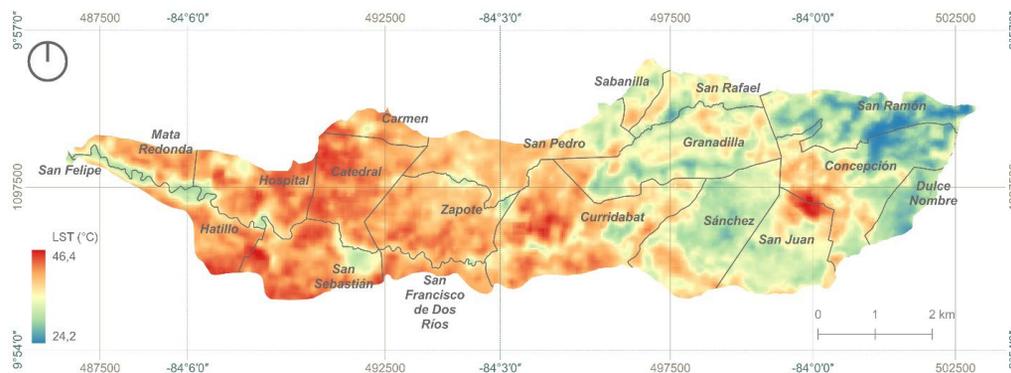


Figura 4. Distribución de LST por distrito (marzo,2023) [5].

Los resultados también mostraron que los bosques y las áreas naturales desempeñan un papel importante en la regulación del clima, manteniendo temperaturas más bajas en comparación con las áreas verdes urbanas y las zonas con infraestructura. Esto refuerza la importancia de preservar y restaurar estos entornos naturales. Asimismo, se confirmó que las áreas verdes urbanas ayudan a mitigar la ICU, lo que resalta la necesidad de integrarlas en la planificación urbana.

El análisis de las métricas del paisaje dentro del CBIMA permitió comprender mejor la relación entre la morfología urbana y la LST. Conocer las métricas del paisaje que influyen en la temperatura es crucial para la toma de decisiones orientadas a una planificación sostenible y resiliente del CBIMA. En las figuras 5 y 6, se observan las zonas que presentaron mayor intensidad de ICU; con una intensidad de ICU promedio de 12,841 °C y 12,505 °C respectivamente, relacionadas con un alto porcentaje de infraestructura (mayor a 90%). Ambos casos son un ejemplo de la influencia que tiene la impermeabilización de las superficies en el aumento de la ICU.

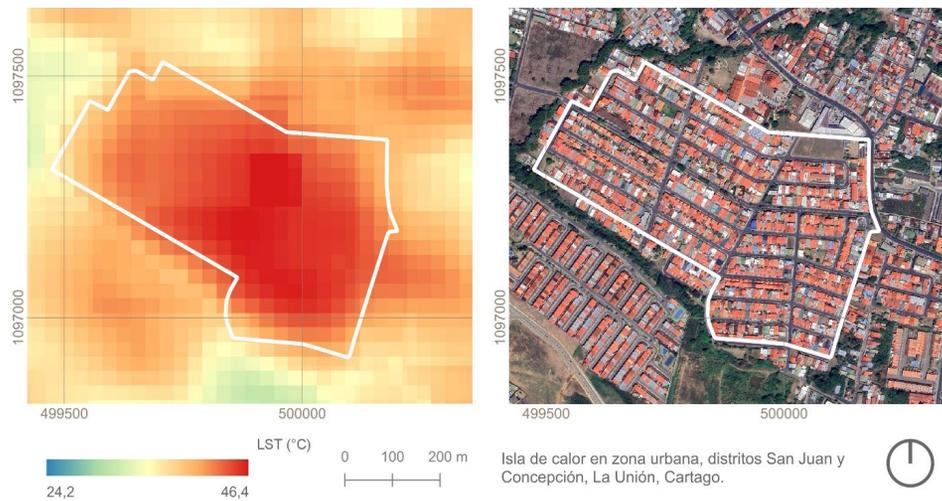


Figura 5. Zona urbana con alta intensidad de ICU en La Unión, Cartago [5].

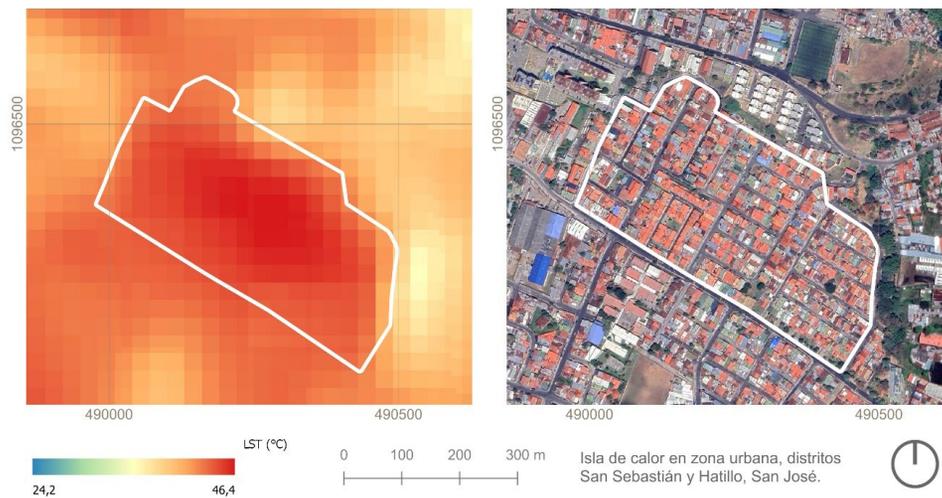


Figura 6. Zona urbana con alta intensidad de ICU en el cantón de San José [5].

También se estimó el efecto de enfriamiento de diferentes espacios verdes, mostrando su importante contribución para mitigar el calentamiento urbano. Se evidenció que tanto el tamaño del espacio verde como la cantidad de árboles son factores clave en la capacidad de enfriamiento. Además, varios de los espacios verdes estudiados con mayor efecto de enfriamiento cuentan con infraestructura azul (como cuerpos de agua), lo cual resulta ser un elemento importante para considerar en las estrategias de planificación urbana sostenible.

En la figura 7 se presenta el espacio verde con la mayor capacidad de enfriamiento dentro de la muestra estudiada. Este espacio cuenta con una densa cobertura de árboles que no pierden sus hojas en la época seca (especies no caducifolias), lo cual está estrechamente relacionado con su alta capacidad para enfriar el entorno. El área total de este espacio es de 14,10 hectáreas, de las cuales 12,61 hectáreas están cubiertas por vegetación arbórea densa.

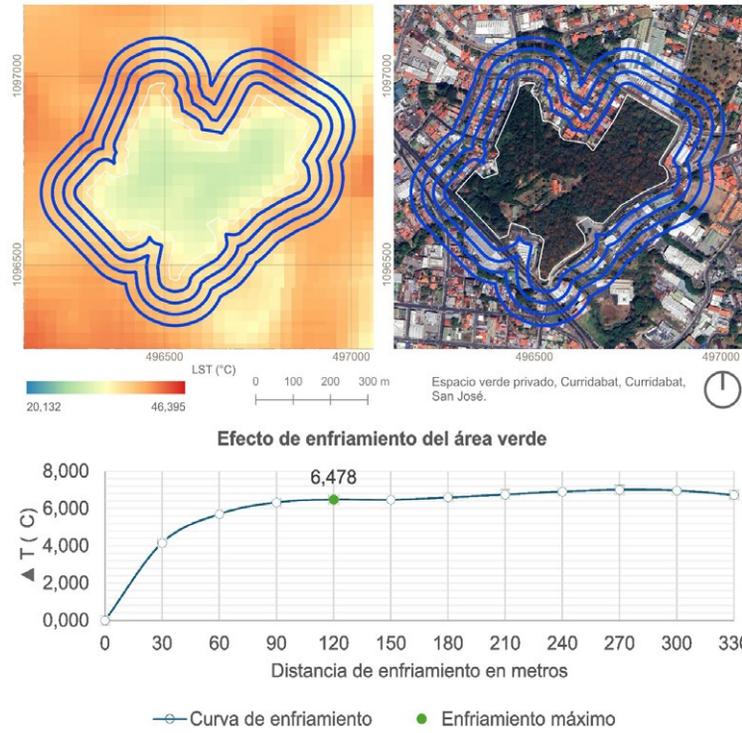


Figura 7. Espacio verde con alta capacidad de enfriamiento, Curridabat, San José [5].

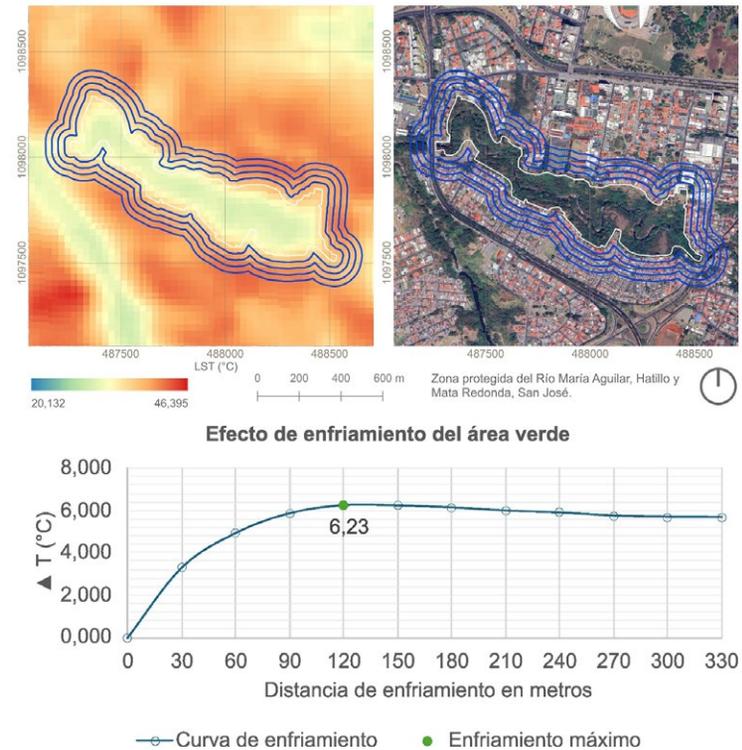


Figura 8. Área verde con alta capacidad de enfriamiento (Zona protegida del Río María Aguilar) [5].

En las figuras 8 y 9 se presenta otro espacio verde que también demostró una alta capacidad de enfriamiento; donde se puede observar vegetación ribereña, que contribuye significativamente a su efecto refrescante.



**Figura 9.** Fotografía de Zona protegida del Río María Aguilar [11].

En la figura 10 se presentan fotografías de tres espacios públicos con trama verde dentro del CBIMA: el Parque de la Paz (A), el Parque Nacional (B) y el Parque del Prado (C). Estos ejemplos destacan por registrar temperaturas superficiales más bajas en comparación con las áreas urbanas circundantes, lo que evidencia su contribución a la mitigación del calentamiento urbano.



**Figura 10.** Espacios públicos con trama verde dentro del CBIMA. Fuente propia.

Finalmente, a partir de estos resultados, el análisis documental y la revisión de literatura, como parte del trabajo final de graduación [5], se elaboraron recomendaciones y lineamientos para promover una planificación urbana más sostenible y resiliente en el CBIMA.

## Conclusión:

Los resultados de esta investigación evidencian cómo la configuración urbana y las áreas verdes influyen en la temperatura del CBIMA, con implicaciones directas para una planificación urbana sostenible y resiliente. La posibilidad de replicar esta metodología en otras áreas urbanas del país permite a gobiernos locales e instituciones generar datos útiles para el ordenamiento territorial y monitorear el impacto de sus decisiones en el clima local. Los hallazgos y recomendaciones de diseño resiliente generadas pueden integrarse en planes reguladores municipales, políticas de ordenamiento territorial y planificación urbana. También permite reforzar, con datos precisos, las normativas y políticas ya existentes; brindando a las instituciones locales la oportunidad de crear programas de sensibilización e incentivos para promover la reforestación y conservación de áreas verdes, tanto en espacios públicos como privados.

## Agradecimientos:

Al Área Académica de la Maestría en Diseño y Construcción Sostenible, así como al Proyecto Transición hacia una Economía Verde Urbana (TEVU), por el apoyo brindado. A todas las personas que contribuyeron en las distintas etapas de esta investigación, con especial mención al Arq. Carlos Ugalde Hernández (MDU), la Ing. Casia Soto Montoya (MSc), el Dr. Arq. David Porras Alfaro, el Ing. Pedro Esteban Sandoval Alvarado y la Dra. Miriam Miranda Quirós, por los aportes brindados.

## Referencias:

- [1] Wong, N. H., Tan, C. L., Kolokotsa, D. D., & Takebayashi, H. (2021). Greenery as a mitigation and adaptation strategy to urban heat. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(3). <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00129-5>
- [2] Yu, Z., Yang, G., Zuo, S., Jørgensen, G., Koga, M., & Vejre, H. (2020). Critical review on the cooling effect of urban blue-green space: A threshold-size perspective. *Urban Forestry & Urban Greening*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.12663>
- [3] Valverde, J. M. (2015). Ordenamiento territorial: implicaciones para el desarrollo humano. En *Vigésimosegundo Informe Estado De La Nación En Desarrollo Humano Sostenible* (pp. 273--326). Consejo Nacional de Rectores (Costa Rica). Programa Estado de la Nación. <https://hdl.handle.net/20.500.12337/86>
- [4] MINAE-GEF-PNUD. (2021). OCTUBRE URBANO 2021 - MOCUPP. Recuperado 25 de abril de 2024, de <https://mocupp.org/octubre-urbano-2021/>. <https://mocupp.org/octubre-urbano-2021/>
- [5] Vargas-Montero, S. (2024). Impacto de la morfología urbana y la trama verde en la temperatura de la microcuenca del río María Aguilar, Gran Área Metropolitana de Costa Rica. [Proyecto de graduación]. Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/15196>
- [6] MINAE-GEF-PNUD (2019). Diagnóstico multidimensional del Corredor Biológico Interurbano María Aguilar. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – Proyecto Conservando la biodiversidad a través de la gestión sostenible en los paisajes de producción en Costa Rica. Costa Rica. <https://www.undp.org/es/costa-rica/publicaciones/diagnostico-multidimensional-del-corredor-biologico-interurbano-maria-aguilar-cbima>
- [7] Ermida, S. L., Soares, P., Mantas, V., Götttsche, F., & Trigo, I. F. (2020). Google earth engine open-source code for land surface temperature estimation from the landsat series. *Remote Sensing*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/rs12091471>
- [8] MINAE-SINAC-PNUD. (2022). Monitoreo del Cambio de Uso y Cobertura de la Tierra en Paisajes Productivos Urbanos (MOCUPP Urbano). Corredor Biológico Interurbano María Aguilar (CBIMA). Datos para el 2021. <https://mocupp.org/download/mocupp-urbano-cambios-en-trama-verde-2019-2021/?wpdmdl=3728&refresh=64752273812bf1685398131>

- [9] Ortiz-Malavasi, E. (2014). Atlas de Costa Rica 2014.
- [10] Arellano Ramos, B., García Haro, A. y Roca Cladera, J. (2019). Definición espacial del efecto de enfriamiento de los espacios verdes urbanos mediante teledetección: Estudios de caso en el Área Metropolitana de Barcelona. En XIII CTV 2019 Proceedings: XIII International Conference on Virtual City and Territory: "Challenges and paradigms of the contemporary city": UPC, Barcelona, October 2-4, 2019. Barcelona: CPSV, 2019, p. 8956. <http://dx.doi.org/10.5821/ctv.8956>
- [11] Río Urbano, Imagen de Google Earth Pro de la microcuenca del río María Aguilar, Google Earth Pro, 2022. [Accedido: 22 nov., 2024]. Disponible: <https://earth.google.com/web/@9.92561177,-84.10443317,1094.42485769a,0d,60y,-42.6843h,76.2967t,0r/data=CgRCAGgBljAKLEFGMVFpc-FBnTUdoV2FKSGI3SUIkN2pfSXhfYXZBeUhwCWtPUXFPUTZiYIVYEAU6AwoBMEICcABKCAizut-DAAhAA>

## Sobre el autor:

### Juan Sebastián Vargas-Montero

Es arquitecto. Realizó sus estudios de grado en la Universidad de Costa Rica, donde se graduó de Licenciatura en Arquitectura. Posteriormente realizó estudios de posgrado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, donde obtuvo el título de Magister Scientiae en Diseño y Construcción Sostenible (Summa Cum Laude). Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-7268-3482>