



**Ingeniero Forestal  
y especialista en  
arboricultura  
Transición a una  
economía verde urbana  
(TEVU)**

fabricio.ballestero@  
tropicalstudies.org

## **MOCUPP Urbano como herramienta basada en ciencia para la selección y priorización de la arborización en la ciudad y la cuantificación de los servicios ecosistémicos**

**Fabricio Ballestero Jiménez  
Juan Sebastián Vargas Montero**



**Arquitecto, egresado de  
la Maestría en Diseño y  
Construcción  
Sostenible, Tecnológico  
de Costa Rica**

jsvargasm@gmail.com

Las ciudades se han convertido en las áreas más pobladas del mundo, experimentando un crecimiento exponencial a menudo acompañado de una deficiente planificación territorial. Esta dinámica afecta tanto la cantidad como la calidad de los espacios verdes disponibles para sus habitantes (MINAE-GEF-PNUD, 2019).

Costa Rica no escapa de esta realidad. Eliminamos la cobertura forestal existente para desarrollar la infraestructura necesaria para albergar a más población, pero con esto se han perdido todos los beneficios que nos brinda la infraestructura verde. Un ejemplo de esto es el Gran Área Metropolitana (GAM), cuya expansión urbana se ha caracterizado por una planificación insuficiente y un crecimiento desorganizado, impulsado principalmente por el mercado inmobiliario debido a la debilidad en la implementación de políticas locales y regionales (Valverde, 2015). Estudios realizados en el GAM han revelado una relación significativa entre la escasez de áreas verdes y el calentamiento urbano (Barrantes Sotela, 2020; MINAE-SINAC-GIZ, 2021; Municipalidad de Curridabat, 2019).

Los árboles mejoran la resiliencia y la habitabilidad de los entornos urbanos a través de beneficios como la reducción del calor, la mitigación de inundaciones, la purificación del aire (Livesley *et al.*, 2016), así como, el secuestro de carbono (Nowak y Crane, 2002). Además, generan bienestar físico, mental y social (Harting *et al.*, 2014; Nesbitt *et al.*, 2017).

Es evidente que existen conflictos entre el reverdecimiento y la densificación de la ciudad. Por lo tanto, es crucial que exista una planificación estratégica para la adaptación climática, mientras se manejan los espacios y los recursos limitados para satisfacer las necesidades locales (Hamin y Gurran, 2009).

Por ejemplo, según Czekajlo *et al.* (2024) “una densidad mayor de desarrollo dificulta o hace más retador brindar procesos de reverdecimiento o creación de parques”. Además, la falta de espacio para el establecimiento de árboles urbanos y la remoción de árboles maduros es un proceso común durante el desarrollo constructivo.

El proyecto Transición hacia una economía verde urbana (TEVU), desarrollado por la OET (Organización para Estudios Tropicales), el GEF (Global Environment Facility) y el PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) destaca por la implementación del Sistema de Monitoreo del Cambio de Uso y Cobertura de la Tierra en Paisajes Productivos Urbanos (MOCUPP Urbano) para 20 cantones del GAM. Este sistema se encarga de monitorear y clasificar el uso de la tierra.

En este proceso se abordó el concepto de trama verde, entendiendo que son áreas verdes naturales dentro del tejido urbano y que se relaciona con el concepto de infraestructura verde, definida como una red de espacios verdes y otros elementos naturales de alto valor, planificada y desarrollada desde una perspectiva estratégica en la ciudad (Natural England, 2010, como se citó en Toribio y Ramos, 2017).

Para monitorear la trama verde, el proyecto TEVU utilizó imágenes satelitales de alta resolución. La clasificación espectral y la extracción de las áreas de trama verde y usos de la tierra presentes en el área de estudio se desarrollaron mediante procesos automatizados de mapeo. Para clasificar el tipo de trama verde presente se utilizaron las clases citadas en el Decreto Ejecutivo 40043-MINAE (2017), de las cuales se identificaron tres categorías y 14 clases (Acuña y Miranda, 2021).

La medición de la cobertura de copas de los bosques urbanos, también conocidos como infraestructura verde, a través de sensores remotos, como la generada por MOCUPP Urbano, ha sido realizada en otros estudios con diferentes fuentes de información, técnicas de interpretación y categorías de clasificación. Algunos ejemplos son: uso de imágenes aéreas (Nowak *et al.*, 1996), imágenes digitales de alta resolución (Myeong *et al.*, 2001), imágenes satelitales de resolución media (Huang *et al.*, 2001) e imágenes satelitales de baja resolución (Dwyer *et al.*, 2000).

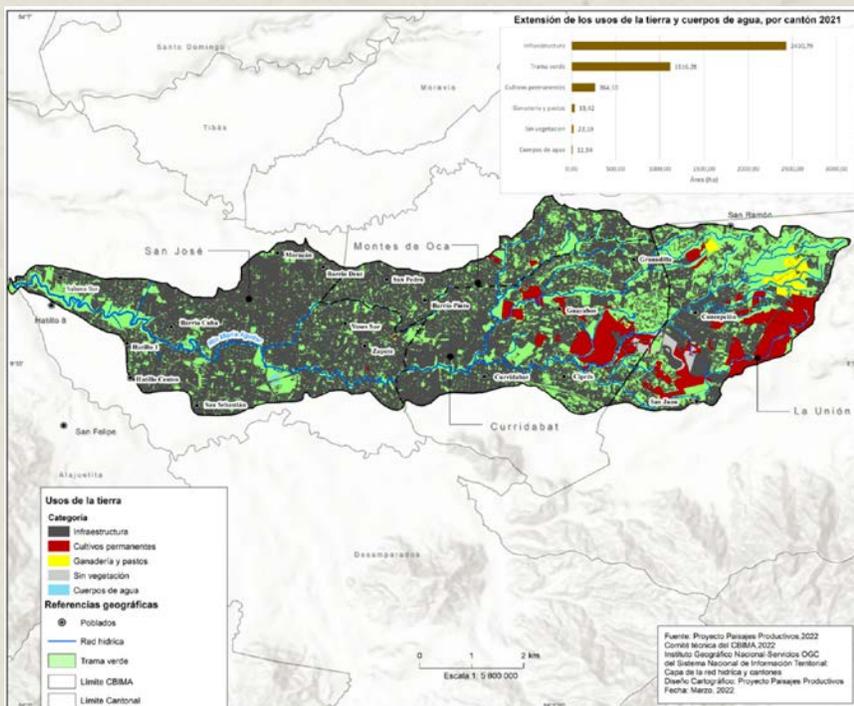
La información geoespacial generada en capas de usos de suelo se ha utilizado en otros estudios para determinar y evaluar los beneficios de la trama verde en las ciudades. Por ejemplo, **Dwyer y Miller (1999)** utilizaron la información del uso y cobertura de suelo para determinar y evaluar los beneficios producidos por la cobertura forestal o dosel arbóreo de la ciudad de Stevens Point, Winsconsin.

En esta misma línea, autores como **Nowak et al. (2008)** implementaron métodos para evaluar la estructura y los servicios ecosistémicos de los bosques urbanos, utilizando el modelo denominado Urban Forest Effects (UFORE). Este modelo requiere obligatoriamente datos sobre uso

del suelo y datos de campo, mediante el establecimiento de parcelas de muestreo o de inventarios. Obtener esta información o bases de datos suelen asociarse a la cooperación de instituciones locales, generalmente gobiernos locales. Esto denota no solo la necesidad de contar con la información del uso de suelo, sino también de inventarios que refuercen la precisión de los servicios que brindan los bosques urbanos o trama verde.

En su primera fase de desarrollo, el MOCUPP Urbano generó información sobre el uso del suelo y la trama verde dentro del Corredor Biológico Interurbano María Aguilar (CBIMA) (**Figura 1**), que abarca cinco cantones del GAM. **Acuña y Padilla (2022)** utilizaron las categorías de uso de la trama verde, red hídrica y puntos de restauración generados para aplicar líneas de conectividad estructural con herramientas geoespaciales, estableciendo así estrategias de reverdecimiento en este importante corredor interurbano.

De acuerdo con **Acuña y Miranda (2021)**, la evaluación y el monitoreo de la trama verde son igualmente



**Figura 1.** Usos de la tierra del CBIMA, para el año 2021. Fuente: Proyecto Paisajes Productivos (MINAE-SINAC-PNUD, 2022).

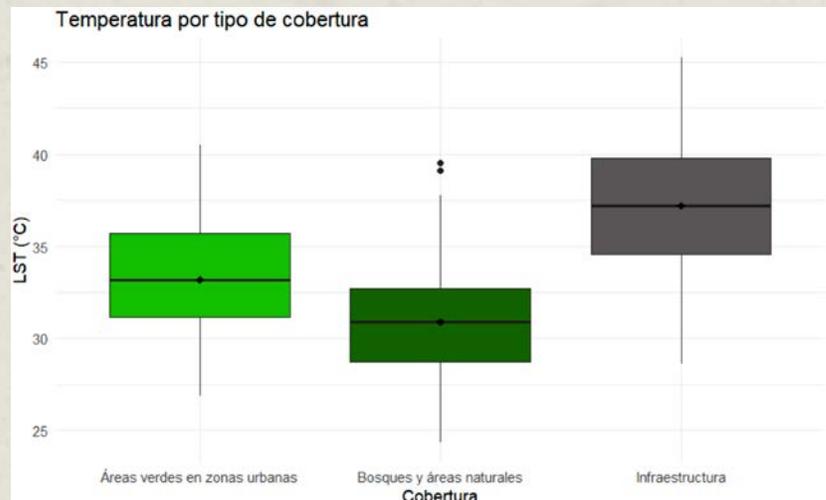
importantes que las actividades de reverdecimiento, arborización y mantenimiento, ya que facilitan la generación de conocimiento sobre islas de calor, conectividad, endemismo de especies vegetales en áreas urbanas, restauración del paisaje y mejoramiento de los servicios ecosistémicos, entre otros.

Las actividades de evaluación y monitoreo de la trama verde, como las de MOCUPP Urbano, proporcionan información sobre los beneficios que los árboles y la vegetación aportan a las ciudades a través de los servicios ecosistémicos, entre otros. Con la clasificación y el mapeo de la trama verde es posible identificar sectores críticos y prioritarios para intervenir, mejorando el entorno urbano y fortaleciendo los servicios ecosistémicos de apoyo, abastecimiento y regulación, así como los servicios culturales y de esparcimiento. Esta información se convierte en un recurso para mejorar la resiliencia y la calidad de vida en entornos urbanos.

El MOCUPP Urbano genera información científica para profundizar en temas relacionados con la trama verde y sus beneficios en las ciudades. Por ejemplo, en un Trabajo Final de Graduación de la Maestría en Diseño y Construcción Sostenible del Tecnológico de Costa Rica, se utilizaron las capas de trama verde

y usos de la tierra generadas por MOCUPP Urbano, para evaluar el impacto de la trama verde en la temperatura de la superficie (LST, por las siglas en inglés: Land Surface Temperature) y la regulación del clima urbano dentro del CBIMA (Vargas-Montero, 2024).

A través del procesamiento y análisis de los tipos de cobertura y la LST en la zona estudiada, la investigación identificó las islas de calor urbanas, así como las zonas con menores temperaturas, demostrando su relación con la infraestructura y la trama verde. Se confirmó que los bosques y áreas naturales tienen una influencia significativa en la regulación del clima, manteniendo temperaturas más bajas en comparación con la infraestructura (**Figura 2**). Estos hallazgos subrayan la importancia de preservar, proteger y restaurar los entornos naturales. Asimismo, se evidenció que las áreas verdes urbanas contribuyen a



**Figura 2.** Temperatura de la superficie (LST) de diferentes tipos de cobertura del CBIMA. Fuente: Vargas-Montero (2024).

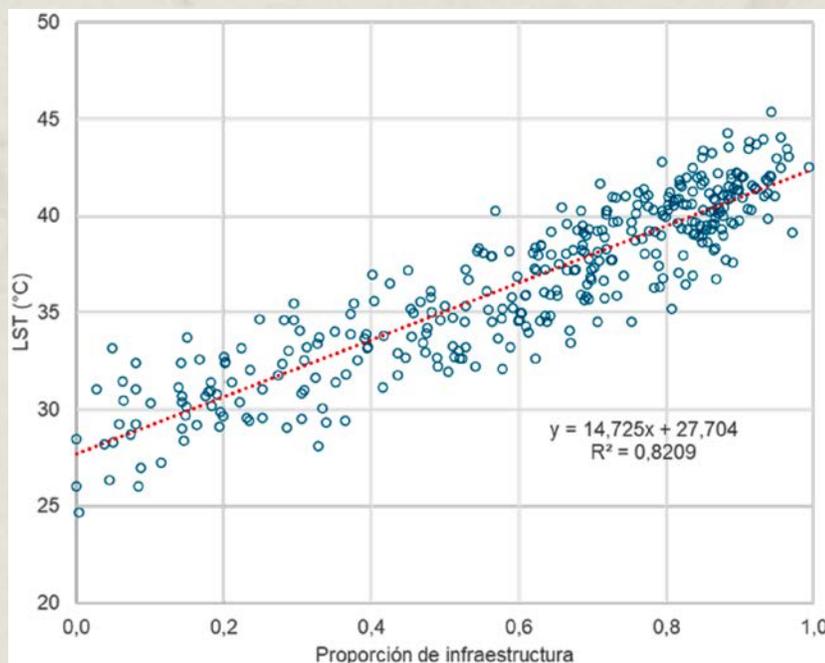
la regulación del clima, resaltando la necesidad de integrarlas en la planificación urbana (Vargas-Montero, 2024). También se encontraron diferencias en la LST de los diferentes tipos de trama verde, donde las menores temperaturas se presentaron en los bosques y áreas naturales, lo que concuerda con lo señalado por Marando *et al.* (2022), quienes indican que la capacidad de enfriamiento de los espacios verdes urbanos puede variar según los tipos de vegetación y cobertura, como pastos, arbustos o árboles, alcanzando el máximo efecto en los bosques urbanos.

El estudio de las métricas del paisaje dentro del CBIMA, utilizando las capas de cobertura del MOCUPP Urbano, permitió determinar la relación entre la morfología urbana y la LST. Se

reflejó el impacto de la infraestructura en el calentamiento urbano dentro de la zona de estudio, mostrando una tendencia lineal creciente: a medida que aumenta el porcentaje de infraestructura aumenta también la LST (Figura 3) (Vargas-Montero, 2024). Los resultados concuerdan con los hallazgos de otros investigadores, quienes también evidenciaron el impacto de la impermeabilización de las superficies y la falta de vegetación en el calentamiento urbano (An *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2022). Conocer cómo los patrones de cobertura y la fragmentación de la trama verde influyen en la temperatura es crucial para la toma de decisiones orientadas a una planificación sostenible y resiliente. La diversidad en los tipos de cobertura, el

aumento de superficies permeables y la arborización dentro de la ciudad surgen como posibles soluciones para la mitigación de las islas de calor.

El estudio realizado permitió estimar el efecto de enfriamiento de 20 espacios verdes dentro de la zona de estudio, evidenciando su contribución a la mitigación del calentamiento urbano. Se demostró que tanto el tamaño de los espacios



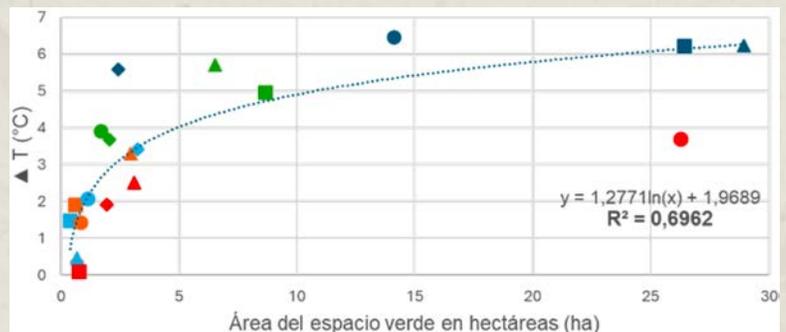
**Figura 3.** Regresión lineal entre proporción de infraestructura y LST. Fuente: Vargas-Montero (2024).

verdes (**Figura 4**) como el área con cobertura arbórea (**Figura 5**) son factores determinantes en la intensidad de enfriamiento. Un alto porcentaje de los espacios verdes estudiados que presentaron mayor intensidad de enfriamiento cuentan con infraestructura azul, lo que es otro factor importante para considerar en las estrategias para la planificación urbana sostenible (Vargas-Montero, 2024). Para estimar el efecto refrescante de los espacios verdes se utilizó una metodología similar a la aplicada por Arellano Ramos *et al.* (2019), Chibuike *et al.* (2018) y Feyisa *et al.* (2014) en Barcelona, Nigeria y Etiopía, respectivamente; donde se emplearon anillos concéntricos para cuantificar la extensión e intensidad del enfriamiento.

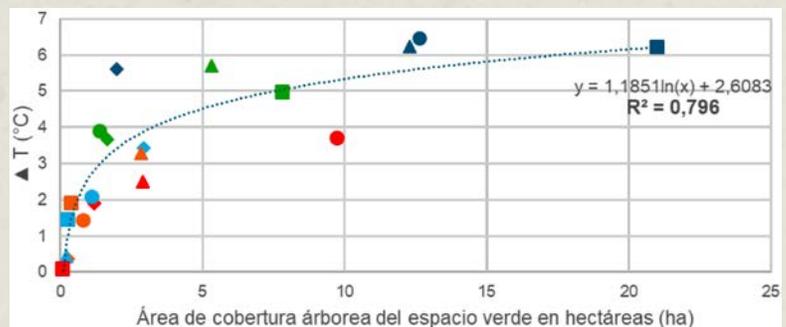
La metodología implementada por MOCUPP Urbano para la clasificación y mapeo de la trama verde, junto con la utilizada para estudiar la temperatura y el clima urbano, puede replicarse en otras zonas del país. Esto brinda a los gobiernos locales e instituciones la oportunidad de generar información científica útil para el ordenamiento territorial, identificando puntos críticos para priorizar estrategias de arborización que favorezcan la mitigación del

calentamiento urbano. Además, permite establecer un control y monitoreo sobre cómo las decisiones urbanas y las soluciones basadas en naturaleza influyen en el clima de las ciudades.

La LST es un indicador sencillo de calcular con imágenes satelitales Landsat, que son gratuitas y permiten el estudio desde el año 1982, facilitando comparaciones de variaciones en la LST debido a cambios de cobertura. Asimismo, se puede desarrollar la modelización espacial de escenarios con diferentes arreglos de árboles y construcciones a escala de barrio, evaluando las condiciones actuales y futuras de los bosques y la silvicultura urbana (Czekajlo *et al.*, 2024).



**Figura 4.** Intensidad de enfriamiento versus tamaño del espacio verde. Fuente: Vargas-Montero (2024).



**Figura 5.** Intensidad de enfriamiento versus área de cobertura arbórea. Fuente: Vargas-Montero (2024).

Para lograr estos procesos de reverdecimiento es importante seguir las directrices de planificación o indicadores como la regla 3-30-300 (Konijnendijk, 2022), que define cómo las ciudades pueden proporcionar un acceso equitativo y coherente a los árboles y espacios verdes en todas las escalas. Además, la plantación estratégica de árboles puede mejorar la movilidad al aumentar los niveles de confort, definir los espacios peatonales y proporcionar sombra para dinamizar la ciudad (Langenheim *et al.*, 2020). Aunque, la mayoría de los estudios recientes se centran en ciudades más grandes que las de Costa Rica, esto no debe ser una limitante; se insta a que los datos generados por el MOCUPP Urbano llenen los vacíos de información y permitan tomar decisiones informadas.

## Referencias

- Acuña-Piedra, J. y Miranda, M. (2021). Monitoreo de los cambios en el uso y cobertura del suelo del paisaje urbano. *Ambientico*, (276), 20-25. <https://www.ambientico.una.ac.cr/revista-ambientico/monitoreo-de-los-cambios-en-el-uso-y-coberturadel-suelo-del-paisaje-urbano/>
- Acuña-Piedra, J. y Padilla, C. (2022). Experiencias en el monitoreo de la trama verde con herramientas geospaciales y reverdecimiento en el Corredor Biológico Interurbano María Aguilar (CBIMA). *Ambientico*, (284), 30-42. <https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/39325/ART-284-05.pdf>
- An, H., Cai, H., Xu, X., Qiao, Z., & Han, D. (2022). Impacts of urban green space on land surface temperature from urban block perspectives. *Remote Sensing*, 14(18), 4580. <https://doi.org/10.3390/rs14184580>
- 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>
- Barrantes Sotela, O. E. (2020). *Análisis del efecto del cambio de la cobertura de la tierra en el fenómeno de Isla de Calor Urbano (ICU) en la ciudad de Heredia, Costa Rica*. [Tesis de maestría no publicada]. Universidad de Costa Rica. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstreams/875a63b8-616b-46b4-a9f3-8617487c2f12/download>
- Chibuike, E. M., Ibukun, A. O., Abbas, A., & Kunda, J. J. (2018). Assessment of green parks cooling effect on Abuja urban microclimate using geospatial techniques. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 11, 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.04.006>
- Czekajlo, A, Cheng, Z., Barron, S., Girling, C., & Nesbitt, L. (2024). Modelling Four Neighbourhood-Scale Urban Forest Scenarios for 2050: Vancouver, Canada. *Arboriculture & Urban Forestry*, 50(1), 18–56. <https://doi.org/10.48044/jauf.2023.025>
- Decreto Ejecutivo No. 40043- MINAE. (2017). [Ministerio de Ambiente y Energía]. *Regulación del Programa Nacional de Corredores Biológicos*. Diario Oficial La Gaceta, n.º 20, Alcance 19, 27 de enero de 2017. [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=83424&nValor3=107128&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=83424&nValor3=107128&strTipM=TC)
- Dwyer, M., & Miller, R. (1999). Using GIS to assess urban tree canopy benefits and surrounding greenspace distributions. *Journal of Arboriculture*, 25(2), 102-107. <https://doi.org/10.48044/jauf.1999.016>
- Dwyer, J. F., Nowak, D. J., Noble, H. M., & Sisinni, S. M. (2000). *Connecting People with Ecosystems in the 21st Century: An Assessment of Our Nation's*

- Urban Forests*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-490. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR. <https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-490>
- Feyisa, G. L., Dons, K., & Meilby, H. (2014). Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. *Landscape and Urban Planning*, 123, 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.12.008>
- Hamin, E. M. & Gurran, N. (2009). *Urban form and climate change: Balancing adaptation and mitigation in the U.S. and Australia*. *Habitat International, Climate Change and Human Settlements*, 33(3):238-245. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2008.10.005>
- Hartig, T., Mitchell, R., de Vries, S., & Frumkin, H. (2014). Nature and health. *Annual Review of Public Health*, 35, 207-228. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-032013-182443>
- Huang, C., Yang, L., Wylie, B., and Homer, C. (2001). *A Strategy for Estimating Tree Canopy Density Using Landsat 7 ETM+ and Higher Resolution Images Over Large areas*. In: Third International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, Denver, CO. [https://digitalcommons.unl.edu/usgspubs/111/?utm\\_source=digitalcommons.unl.edu%2Fusgspubs%2F111&utm\\_medium=PDF&utm\\_campaign=PDFCoverPages](https://digitalcommons.unl.edu/usgspubs/111/?utm_source=digitalcommons.unl.edu%2Fusgspubs%2F111&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages)
- Konijnendijk, C. C. (2022). Evidence-based guidelines for greener, healthier, more resilient neighbourhoods: Introducing the 3–30–300 Rule. *Journal of Forestry Research*, 34, 821-830. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01523-z>
- Marando, F., Heris, M. P., Zulian, G., Udías, A., Mentaschi, L., Chrysoulakis, N., Parastatidis, D., & Maes, J. (2022). Urban heat island mitigation by green infrastructure in European Functional Urban Areas. *Sustainable Cities and Society*, 77, 103564. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103564>
- 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>
- MINAE-SINAC-GIZ. (2021). *Atlas de Servicios Ecosistémicos de la Gran Área Metropolitana*. MINAE-SINAC-GIZ. <https://atlasverde.net/isla-de-calor/>
- 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>
- Municipalidad de Curridabat. (2019). *Islas de calor, impactos y respuestas: El caso del Cantón de Curridabat*. Curridabat, Costa Rica. [https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/9345/Islas\\_de\\_calor\\_impactos\\_y\\_respuestas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/9345/Islas_de_calor_impactos_y_respuestas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Myeong, S., Hopkins, P. F., and Nowak, D. J. (2001). Urban cover mapping using digital, high-spatial resolution aerial imagery. *Urban Ecosystems*, 5, 243–256. [https://www.nrs.fs.usda.gov/pubs/jrnl/2003/ne\\_2003\\_myeong\\_001.pdf](https://www.nrs.fs.usda.gov/pubs/jrnl/2003/ne_2003_myeong_001.pdf)
- Nesbitt, L., Hotte, N., Barron, S., Cowan, J., and Sheppard, S. R. J. (2017). The social and economic value of cultural ecosystem services provided by urban forests in North America: A review and suggestions for future research. *Urban Forestry & Urban Greening*, 25, 103-111. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.05.005>
- Nowak, D. J., Rowntree, R. A, McPherson, E. G., Sisin, S. M., Kerkmann, E. R. and Stevens, J. C. (1996). Measuring and analyzing urban tree cover. *Landscape and Urban Planning*, 36, 49–57. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(96\)00324-6](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(96)00324-6)
- Nowak, D. J., & Crane, D. E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116(3), 381-389. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7)

- Nowak, D. J., Crane, D. E., Stevens, J. C., Hoehn, R. E., Walton, T., & Bond, J. (2008). Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services. *Arboriculture & Urban Forestry*, 34(6):347–358. <http://dx.doi.org/10.48044/jauf.2008.048>
- Langenheim N., White, M., Tapper, N., Livesley, S. J., & Ramirez-Lovering, D. (2020). Right tree, right place, right time: A visual-functional design approach to select and place trees for optimal shade benefit to commuting pedestrians. *Sustainable Cities and Society*. 52, 101816. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101816>
- Livesley, S. J., McPherson, E. G., & Calfapietra, C. (2016). The urban forest and ecosystem services: Impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale. *Journal of Environmental Quality*, 45(1), 119-124. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.11.0567>
- Toribio, J. M. F. y Ramos, J. S. (2017). Naturaleza y ciudad. Perspectivas para la ordenación de la infraestructura verde en los planes territoriales metropolitanos en España. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (74). <https://doi.org/10.21138/bage.2447>
- 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>
- 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 no publicado]. Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/15196>
- Zhang, Y., Wang, Y., Ding, N., & Yang, X. (2022). Spatial pattern impact of impervious surface density on urban heat island effect: A case study in Xuzhou, China. *Land*, 11(12), 2135. <https://doi.org/10.3390/land11122135>