



Programa de Cuencas
Hidrográficas,
Municipalidad de San
José, Costa Rica (cuencas.msj@gmail.com)

Cuantificación de los servicios ecosistémicos en 10 parques urbanos de San José

Gabriela Sánchez Sibaja
Luis Orozco-Aguilar
José Félix Cercas Perez



Director de investigación
e Innovación, MOCCA-
Lutheran World Relief
(lorozcoaguilar@lwr.org)



Estudiante de Maestría
en Economía y Medio
Ambiente del CATIE
(jose.cercas@catie.ac.cr)



La Municipalidad de San José, desde hace más de 40 años, ha venido trabajando en el componente verde dentro del casco urbano de manera prioritaria. Dada su condición de ciudad capital, en los últimos 20 años y con la participación de la ciudadanía se han intensificado los programas de arborización y de creación de espacios verdes para el disfrute de los residentes y visitantes. A partir de esa premisa es que, entre el 2005- 2009, se gestó un Plan de Arborización Urbana (PLANARBU) en la Sección de Parques y Arboricultura Urbana; uno de sus componentes fue realizar un inventario y diagnóstico de los árboles urbanos en los 11 distritos del cantón de San José, generando así una base de datos con una ficha técnica que incluyó la siguiente información: nombre científico y nombre común del árbol, altura total (m), diámetro del tronco (1.3 m sobre el suelo), manejo silvicultural recibido o que debía recibir, daños o conflictos con la infraestructura urbana y georreferenciación de cada individuo (Sánchez y Artavia, 2013).

A partir de la información generada del inventario, la Municipalidad de San José gestionó una alianza técnica

estratégica con el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y se desarrolló, en 2020, un proyecto de investigación que permitió cuantificar los servicios ecosistémicos (SE) en diez parques urbanos administrados por el municipio josefino. La cuantificación se realizó por medio de la herramienta i-Tree Eco v6 (<https://www.itreetools.org/>): un modelo informático y estadístico que utiliza mediciones del arbolado (datos de inventario forestal), además de otros datos ambientales, para estimar los SE y características estructurales de la cobertura forestal en zonas urbanas y periurbanas (Nowak, 2018). i-Tree Eco v6 es la herramienta principal del conjunto de programas de i-Tree con el cual se han estudiado los SE en bosques urbanos y periurbanos en diversas ciudades y países de todo el mundo, como Barcelona, Ciudad de México, Chicago, Nueva York, Londres, Medellín, Milán, Perth, Porto, Santiago, Seúl y Toronto (Chaparro y Terrasdas, 2009; Kenton Rogers *et al.*, 2015; Nowak *et al.*, 2018; Nowak y Dwyer, 2007).

Los servicios ecosistémicos (SE) son los beneficios y funciones materiales e inmateriales que los diferentes ecosistemas ponen a disposición de la sociedad de forma natural y, además influyen directamente en el sostenimiento de la vida (Salbitano *et al.*, 2017; MEA, 2005). La cuantificación de los SE del arbolado urbano tiene diferentes objetivos; algunos tratan de encontrar los efectos o variaciones de determinados SE provistos del arbolado urbano

tras la implementación de un proyecto de restauración y arborización urbana contrastando escenarios posibles (Palmero Barrachina, 2019; Retamal, 2015), y otros se proponen evaluar la situación actual o de un determinado momento en el tiempo sobre la provisión de los SE en ciertas regiones para establecer una línea base en la cual se puedan medir los cambios y tendencias como información para los tomadores de decisiones (Arroyave Maya *et al.*, 2018; Concha y Reynoso, 2017; González Pantoja, 2019; Ortiz Núñez, 2020).

La cuantificación de los SE del arbolado urbano del cantón de San José se realizó en diez parques de los cuatro distritos centrales de dicho cantón: Merced, Carmen, Catedral y Hospital (**Figura 1**). En conjunto, los cuatro distritos poseen una extensión de 44.62 km², representando un 1 % del territorio nacional (MSJO, 2016). Los diez parques evaluados suman un total de 111.61 m² y albergan un total de 1 287 árboles (Cuadro 1).

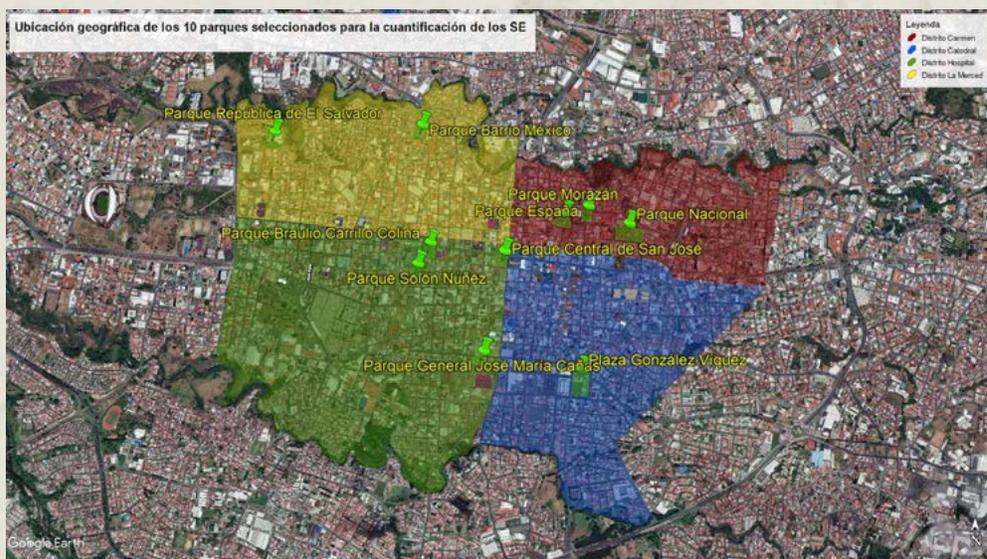


Figura 1. Distritos centrales del cantón de San José, Costa Rica. Fuente: Google Earth Pro v7.3.3.7786. 2021

Cuadro 1. Datos sociodemográficos de los distritos evaluados en el cantón de San José. Fuente: Elaboración propia con datos de Knowg *et al.* (2017) y Municipalidad de San José (2016).

Distrito	Merced	Carmen	Hospital	Catedral
Extensión/km ²	2.29	1.49	3.38	2.31
Porcentaje de área/territorio cantonal	5.13	3.36	7.58	5.18
Población (mayor a 15 años)	9 655	2 431	15 096	10 742
Población (miles de habitantes)	14 078	3 174	21 807	14 855
Área urbanizada (ha)	191.7	143.6	321.1	233.2
Superficie con predios construidos (ha)	140.3	106.2	40.5	165.6
Superficie con vialidades (ha)	46.6	35.0	70.7	64.4
Superficie sin predios construidos (ha)	4.8	2.4	9.9	0.2
Área no urbanizada (ha)	28.6	5.9	10.8	4.3

Partiendo de los datos de inventario forestal disponibles (Sánchez y Artavia, 2013), se evaluaron cuatro SE: 1) almacenamiento de carbono, 2) secuestro de carbono, 3) producción de oxígeno y 4) escurrimiento superficial evitado. Una

vez tabulados los datos del inventario forestal en hoja de cálculo electrónica, se introdujeron al programa i-Tree Eco v6 con el fin de crear varios proyectos de evaluación. Se realizaron 10 proyectos, uno por cada parque. Se seleccionó la estación

meteorológica del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría para tomar los datos del clima, principalmente los registros de precipitación, temperatura y viento, correspondientes al año 2018 (<https://www.imn.ac.cr/en/inicio>).

En total, los 10 parques evaluados en los 4 distritos de la ciudad de San José albergan 1 287 árboles y ofrecen 30 000 m² de cobertura arbórea con variaciones considerables entre parques. Las especies arbóreas más comunes son *Ficus benjamina*, *Ligustrum lucidum*, *Tabebuia rosea*, *Phoenix roebelenii* y *Citharexylum*, pues cada una ocurrió en al menos dos parques. Aquí se presenta una breve descripción de los cuatro SE evaluados.

Almacenamiento de carbono: Este SE es un indicador de la cantidad de carbono que se puede liberar a la atmósfera, si se permite que los árboles mueran y se descompongan. En los 10 parques evaluados existe un stock de 443.25 toneladas de carbono que debe ser conservado mediante buen manejo silvícola.

Captura de carbono: Los árboles capturan carbono de la atmósfera a partir de la fotosíntesis y el crecimiento nuevo cada año. El reporte de i-Tree estimó una tasa de acumulación de carbono de 14.85 toneladas métricas de carbono al año en los 10 parques evaluados. Tasas similares a las de otros estudios.

Producción de oxígeno: Este es uno de los beneficios de los árboles urbanos con mayor reconocimiento entre los expertos e investigadores forestales urbanos (i-Tree Manual de Usuario, 2017). Se

estimó que en los 10 parques evaluados se genera un total de 37 toneladas métricas de oxígeno anualmente. Este SE es clave para mejorar la calidad del aire que se respira a diario.

Escurrimiento superficial evitado: En las ciudades, donde existen muchas superficies impermeables, aumenta la escorrentía superficial. Los árboles interceptan la precipitación con la cobertura foliar, y por otro lado las raíces facilitan la infiltración y el almacenamiento del agua en el suelo. En esta investigación se estimó que el volumen de escorrentía superficial evitada en los 10 parques fue de 985 m³ anuales. En el Cuadro 2 se presentan los resultados de los cuatro servicios ecosistémicos evaluados por cada parque.

Se puede observar en dicho cuadro que el atributo más importante para entender el potencial de provisión de SE del arbolado urbano es el área foliar (Nowak 2018), pues al aumentar esta variable también aumenta la oferta de SE que los árboles urbanos brindan en un sitio. Asimismo, se puede apreciar que el distrito Carmen tiene una mayor provisión de SE debido a que cuenta con cerca de un millar de árboles en su superficie, seguido del distrito Hospital (176 árboles), Catedral (85 árboles) y finalmente La Merced (58 árboles). También podemos observar que las especies arbóreas más frecuentes con mayor captura de carbono fueron *Jacaranda mimosifolia* (presente en parques El Salvador, Doctor Solón Núñez y Morazán) y *Spathodea campanulata* (presente

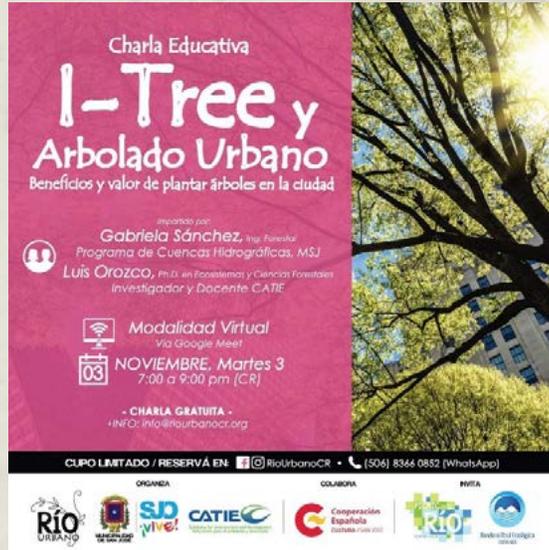
en Parque Central, plaza González Víquez y parques España y Nacional).

De las especies con mayor almacenamiento de carbono sobresale *Spathodea campanulata*, la cual es frecuente y abundante en varios de los parques evaluados (Dr. Solón Núñez, Parque Central, plaza González Víquez y parque España). Al igual que en el caso del SE captura de

carbono, las especies arbóreas con mayor producción de oxígeno fueron *Jacaranda mimosifolia* (ubicada en los parques El Salvador, Dr. Solón Núñez y Morazán) y *S. campanulata* (Parque Central, plaza González Víquez, parques España y Nacional). La especie con mayor contribución de escurrimiento evitado superficial fue *Jacaranda mimosifolia*.

Cuadro 2. Principales atributos de los parques evaluados y cuantificación de los servicios ecosistémicos seleccionados.

Distrito	Extensión territorial (km ²)	Parque	Área del parque (m ²)	Total de árboles	Cobertura arbórea (m ²)	Servicios ecosistémicos			
						Almacenamiento de carbono (toneladas)	Secuestro de carbono (tonelada / año)	Producción de oxígeno (tonelada / año)	Escurrimiento evitado (m ³ / año)
Merced	2.29	República de El Salvador	9 697	46	1 540	42.2	0.892	2.378	49.76
		Barrio México	7 044	12	274	3.11	0.160	0.428	9.17
		Braulio Carrillo (La Merced)	7 442	70	2 075	66.78	1.205	3.214	67.24
Hospital	3.38	Doctor Solón N. (Ministerio de Salud)	7 011	50	2 538	26.55	1.011	2.696	89.3
		Gral. José María Cañas	6 164	26	904	9.24	0.411	1.096	28.8
		Parque Central de San José	6 907	30	889	11.5	0.446	1.18	31.13
Catedral	2.31	Plaza González Víquez	26 148	85	896	8.67	0.398	1.062	27.92
		Parque España	7 459	167	4 620	60.62	2.274	6.063	149.6
Carmen	1.49	Parque Morazán (Templo de la Música)	10 318	125	2 687	36.28	1.361	3.63	87.53
		Nacional	23 421	676	13 470	178.3	6.693	17.85	444.3
Totales	9		111 611	1 287	29 983	443.25	14.85	37.22	984.75



Fuente: Departamento de Comunicación de la Municipalidad de San José, 2020.

Un aspecto clave de esta investigación es que se generaron infografías para dar a conocer los resultados a la población en general. La Municipalidad de San José también divulgó los principales hallazgos de este trabajo en su página de Facebook y en otras redes sociales y profesionales; de esta manera se espera motivar la ciencia ciudadana y la gestión participativa de la trama verde y el arbolado urbano (Figura 2).

Es importante reconocer ciertas limitantes del software i-Tree usado en este estudio. La primera limitante es que faltan ecuaciones alométricas específicas para estimar con mejor precisión la biomasa de las especies tropicales que crecen en nuestros ambientes. [McHale et al. \(2009\)](#) sugiere que, en ausencia de ecuaciones alométricas por especie, se debe usar

una ecuación alométrica general (para el género botánico), ya que el error de estimación de la biomasa en pie es más bajo a escala de la población arbórea. Su segunda limitante se refiere al hecho de que las estimaciones no toman en cuenta la frecuencia y severidad de pudrición de la madera en árboles urbanos, por lo que se aplica de manera estándar un factor de descuento que afecta a toda la estimación de biomasa y carbono ([Orozco-Aguilar et al., 2019](#)). La pudrición de madera en árboles urbanos en pie con frecuencia conduce a situaciones peligrosas, como la caída del tronco completo o de ramas. La tercera limitante fue que, dado que la variable salud general de la copa del árbol fue un dato faltante en los inventarios forestales de la municipalidad, el modelo i-Tree elige la opción predeterminada de

13 % de muerte regresiva (condición de sanidad del 87 %). Bajo este escenario es posible asumir una sobreestimación de los servicios ecosistémicos evaluados.

El arbolado urbano es un elemento de la trama verde (calles y avenidas arborizadas, parques, áreas verdes, isletas, línea férrea y bosques riparios) de la ciudad capital, donde la conectividad de esta trama verde es fundamental para el desarrollo exitoso de los corredores biológicos interurbanos y la promoción de soluciones basadas en la naturaleza. La cuantificación del potencial de provisión de SE del arbolado urbano en el cantón de San José representa un insumo clave para el diagnóstico cantonal de la municipalidad. Al ser el Parque Nacional el que registra los valores más altos en cuanto al secuestro de carbono y valor estructural, se debe de replicar y potenciar su estructura y modelo de manejo. El software i-Tree es una metodología técnica y científica que aporta información clave para la gestión de las áreas verdes y del arbolado urbano y apoya la planificación para incrementar la cobertura arbórea en la ciudad. El enfoque de soluciones basadas en la naturaleza, combinado con estudios técnicos e intervenciones de campo, contribuye a fomentar “ciudades verdes”, más habitables y resilientes.

Referencias

- Arroyave, M. P., Posada, M. I., Nowak, D. J., & Hoehn, R. E. (2018). Remoción de contaminantes atmosféricos por el bosque urbano en el valle de Aburrá. *Colombia forestal*, 22(1), 5-16. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/13695> <https://doi.org/10.14483/2256201X.13695>
- Calaza, P., & Hiemstra, J. (2018). El papel de los bosques urbanos y periurbanos para reducir riesgos y gestionar desastres. *Unasylya*, 69(250), 53-58. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7455605>
- Calaza, P., Cariñanos, P., Escobedo, F., Schwab, J., & Tovar, G. (2018). Crear paisajes urbanos e infraestructura verde. *Unasylya*, 69(250), 11-21. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7455600>
- Chaparro, L., & Terradas, J. (2009). *Ecological Services of Urban Forest in Barcelona*. CREAF. <https://www.itreetools.org/documents/302/Barcelona%20Ecosystem%20Analysis.pdf>
- De La Concha, H., & Reynoso, R. (2017). Resultados del inventario urbano de Playa del Carmen, Q. Roo realizado de noviembre 2016 a abril 2017, 51. <http://www.agrinet.mx/images/agrinet/archivos/InventarioPlayaDelCarmen.pdf>
- González Pantoja, A., & Arroyave, M. P. (2019). Evaluación de la remoción de contaminantes atmosféricos y la captura de carbono por parte de los cerros Nutibara y Volador de Medellín [Trabajo de grado]. Universidad EIA. <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/2479>
- Retamal, C. A. (2015). *Cuantificación de servicios ecosistémicos urbanos en cerro Isla. El Proyecto de Parque Urbano para el cerro Chena, Santiago, Chile* [Tesis de maestría]. Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales, Pontificia Universidad Católica de Chile. <https://estudiosurbanos.uc.cl/wp-content/uploads/2015/12/TESIS-CRA.pdf>

- Sánchez, G., & Artavia, R. (2013). Inventario de la foresta en San José: Gestión Ambiental Urbana. *Ambientico*, 232-233, 26-33. https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/24175/232-233_26-33.pdf
- Salbitano, F., Borelli, S., Conigliaro, M., Chen, Y. (2017). Directrices para la silvicultura urbana y periurbana. FAO, Roma. [http://www.fao.org/publications/card/es/c/6a12f562-589e-4cdb-aa28-d3c9c969ef8c/i-Tree Manual de Usuario \(2017\). Servicios Ecosistémicos.](http://www.fao.org/publications/card/es/c/6a12f562-589e-4cdb-aa28-d3c9c969ef8c/i-Tree%20Manual%20de%20Usuario%20(2017).%20Servicios%20Ecosistemicos) <https://www.itreetools.org/support/resources-overview/i-tree-manuals-workbooks>
- Kenton, R., Sacre, K., Goodenough, J., & Doick, K. (2015). *Valuing London's Urban Forest: Results of the London i-Tree Eco Project*. i-Tree. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/723230/LONDONI-TREECOREPORT151202.pdf
- McHale, M. R., Burke, I. C., Lefsky, M. A., Peper, P. J., & McPherson, E. G. (2009). Urban forest biomass estimates: is it important to use allometric relationships developed specifically for urban trees? *Urban Ecosystems*, 12, 95-113. <https://doi.org/10.1007/s11252-009-0081-3>
- Millennium Ecosystem Assessment [MEA]. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.354.aspx.pdf>
- Municipalidad de San José. (2016). Diagnóstico cantonal 2016. San José: Dirección de Planificación y Evaluación. <https://www.msj.go.cr/docu/Informes%20y%20Estudios%20de%20Desarrollo%20Urbano/Diagn%C3%B3stico%20Cantonal%202016.pdf#search=Diagn%C3%B3stico%20cantonal%202016>
- Nowak, D. J. (2018). Mejorar los bosques urbanos a través de la evaluación, la modelización y el seguimiento. *Unasylva*, 69(1), 30-36. <https://www.fao.org/3/i8707es/i8707ES.pdf>
- Nowak, D. J. & Dwyer, J. F. (2007). Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. En: Kuser, J. E. (ed.). *Urban and community forestry in the Northeast*, 22-46. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4020-4289-8>
- Orozco-Aguilar, L., Johnstone, D., Livesley, S. J., & Brack, C. (2018). The overlooked carbon loss due to decay in urban trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29, 142-153. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.09.008>
- Orozco-Aguilar, L., Levesley, S., Brack, C. Jhonstone, D. 2019. Standing volume yield, canopy structure and allometric relationships of dominant urban trees in Melbourne, Australia. *Urban Forestry & Urban Greening* 43, 216363. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866718304564?via%3Dihub>
- Ortiz Núñez, F. A. (2020). Servicios ecosistémicos y gestión del arbolado urbano en Santo Domingo, República Dominicana [Tesis de maestría]. CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/10350>
- Palmero Barrachina, J. (2019). Servicios ecosistémicos de la infraestructura verde: cuantificación y estimación económica del almacenamiento de carbono y flujos de agua en un proyecto piloto en Benicalap. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/125045>
- Zhao, Y., Zhao, Q. J., Cui, S. H., Lin, T. & Jin, K. (2009). Shengtai Xuebao/*Acta Ecologica Sinica*, 29(12), 6723-6732. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77952193077&partnerID=40&md5=795f891ba28b314189151dd48da019d3>