

Servicios ecosistémicos en parques urbanos: carbono almacenado y salud del arbolado en el Corredor Biológico Interurbano Cubujuquí, Costa Rica

Judith Vargas Barrantes ¹, Kimberly Vizcaíno Herrera ¹, Ronny Villalobos Chacón ², Tania Bermúdez Rojas ¹ & Adrián Delgado Torres ² 

1. Universidad Nacional Costa Rica, Laboratorio de Biología Tropical, Escuela de Ciencias Biológicas, Heredia, Costa Rica; judith.vargas.barrantes@gmail.com; kimberlyvizcainoherrera065@gmail.com; tania.bermudez.rojas@una.ac.cr

2. Universidad Nacional Costa Rica, Escuela de Ciencias Ambientales, Heredia, Costa Rica; ronny.villalobos.chacon@una.ac.cr; adrian.delgado.torres@una.ac.cr

Recibido 25-XI-2025 • Corregido 20-II-2026 • Aceptado 2-III-2026

DOI: <https://doi.org/10.22458/uri.v18i1.6201>

ABSTRACT. “Ecosystem services in urban parks: carbon storage and tree health in the Cubujuquí Interurban Biological Corridor, Costa Rica”. **Introduction:** Urban growth has reduced vegetation cover and biodiversity, affecting environmental quality and human well-being. Urban green areas provide regulating ecosystem services, including carbon capture and storage; however, data from the tropics—key regions for global biodiversity—remain scarce. **Objective:** To evaluate, for the first time, carbon stocks and the phytosanitary condition of trees in public urban green areas of the Cubujuquí Interurban Biological Corridor, Heredia, Costa Rica. **Methods:** We assessed carbon storage and phytosanitary status in 1 256 individuals representing 117 species. **Results:** The *canton* of Alajuela showed the highest carbon storage (27,625Mg C; 101,301Mg CO₂), whereas Flores and San Pablo recorded the lowest values. In total, the sample of 45 parks within the corridor stores 74,784Mg C, equivalent to 261,876Mg CO₂. **Conclusion:** Public green areas within the corridor function as urban carbon sinks with good phytosanitary conditions, contributing to tropical biodiversity conservation and climate change mitigation.

Keywords: green infrastructure, sustainability, biological connectivity, climate resilience, urban planning.

RESUMEN. Introducción: el crecimiento urbano ha reducido la cobertura vegetal y la biodiversidad, afectando la calidad ambiental y el bienestar humano. Las áreas verdes urbanas proveen servicios ecosistémicos de regulación, entre ellos, la captura y almacenamiento de carbono, pero hay pocos datos de los trópicos, áreas clave de la biodiversidad mundial. **Objetivo:** evaluar por primera vez la reserva de carbono y el estado fitosanitario del arbolado en áreas verdes urbanas públicas del Corredor Biológico Interurbano Cubujuquí en Heredia, Costa Rica. **Métodos:** evaluamos carbono y estado fitosanitario en 1 256 individuos de 117 especies. **Resultados:** el cantón de Alajuela presentó el mayor almacenamiento de carbono (27,625Mg C; 101,301Mg CO₂), Flores y San Pablo los valores más bajos. En total, la muestra de 45 parques del CBI almacena 74,784Mg de carbono, equivalentes a 261,876MG de CO₂. **Conclusión:** las áreas verdes públicas del corredor son sumideros urbanos de carbono con buenas condiciones fitosanitarias y un aporte a la biodiversidad tropical y mitigación del cambio climático.

Palabras clave: infraestructura verde, sostenibilidad, conexión biológica, resiliencia climática, planificación urbana.



El crecimiento de las ciudades en las últimas décadas ha generado una serie de desafíos que afectan directamente tanto al entorno natural como a la calidad de vida de los habitantes (Elmqvist et al., 2015). Entre los problemas más evidentes se encuentran la pérdida de espacios verdes, el aumento de la contaminación atmosférica, el incremento de las temperaturas y la disminución de la biodiversidad, factores que en conjunto contribuyen al deterioro de la salud pública y al bienestar general.

Las áreas verdes urbanas, como calles arboladas, jardines, parques y plazas generan una cantidad importante de beneficios a la sociedad, estos se denominan como servicios ecosistémicos (SE) (MEA, 2005) que favorecen el equilibrio ambiental y social en las ciudades (Calaza Martínez, 2016). De acuerdo con el Millennium Ecosystem Assessment (2005), los SE se clasifican en cuatro grandes categorías: provisión, soporte, culturales y de regulación. En este último grupo se encuentra la captura y almacenamiento de carbono, la cual se reconoce como un mecanismo clave para la mitigación del cambio climático (Fernández et al., 2018).

El arbolado urbano desempeña un papel crucial en este proceso, debido a que absorbe dióxido de carbono (CO₂) y contribuye a reducir las concentraciones de este gas de efecto invernadero en la atmósfera (Pereira, 2015). Además, regula la temperatura local, disminuye el efecto de isla de calor urbana y mejora la calidad del aire mediante la provisión de sombra y la evapotranspiración (Gómez-Baggethun et al., 2013). Sin embargo, la capacidad de los árboles para brindar estos beneficios depende directamente de su estado fitosanitario: ejemplares sanos son más efectivos y resilientes, mientras que aquellos afectados por plagas, enfermedades o estrés ambiental pueden ver reducida su funcionalidad e incluso, representar riesgos para la seguridad pública (Dobbs et al., 2011).

En este sentido, los Corredores Biológicos Interurbanos (CBI) constituyen una estrategia clave para integrar y conectar áreas verdes dentro de los entornos urbanos, fortaleciendo la biodiversidad y asegurando la continuidad de los SE (Morrison & Boyce, 2009). Estos corredores fomentan el movimiento de especies, promueven la conectividad ecológica y mejoran la capacidad de la vegetación urbana para brindar beneficios ambientales y sociales.

En noviembre de 2024 se oficializa el CBI Cubujuquí ubicado en las provincias de Heredia (nueve cantones) y Alajuela (cantón Central). Su creación tiene el objetivo de integrar fragmentos de vegetación urbana y periurbana, así como garantizar la provisión de SE esenciales como la captura de carbono y la regulación climática (SINAC, 2024). Este corredor favorece la conservación de la biodiversidad y proporciona espacios verdes de alta calidad a la población, contribuyendo a mejorar su calidad de vida. Este es parte de otras iniciativas de CBI que existen en la Gran Área Metropolitana y están amparados dentro del marco del Decreto Ejecutivo N.º 40043 (SCII, 2016).

Entre las actividades del CBI Cubujuquí destaca la generación de una línea base que permita cuantificar y monitorear sistemáticamente la captura y el almacenamiento de carbono en su cobertura forestal, esta información facilita evaluar el aporte real del arbolado urbano en la mitigación del cambio climático e identificar estrategias de manejo orientadas a maximizar estos beneficios. Asimismo, se busca obtener información sobre el estado fitosanitario del arbolado presente en la trama verde del corredor, debido a que la salud de los árboles influye directamente en su capacidad de fijación de carbono y en la provisión de servicios ecosistémicos claves.

En este contexto, el presente estudio se orienta a resaltar la función del arbolado urbano en la provisión de servicios ecosistémicos de regulación con énfasis en la captura y almacenamiento de carbono dentro del CBI Cubujuquí. De manera complementaria, se pretende evaluar el estado fitosanitario del arbolado en los parques públicos del corredor, con el objetivo de generar información técnica que sirva como base para la planificación urbana, la conservación de la trama verde y la formulación de estrategias hacia un manejo sostenible de las áreas verdes urbanas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área: el área de estudio comprendió el arbolado de los parques públicos ubicados en nueve cantones del CBI Cubujuquí: Belén, Heredia, Alajuela, San Joaquín de Flores, Barva, Santa Bárbara, San Rafael de Heredia, Santo Domingo y San Pablo (Fig. 1). En total, evaluamos 45 parques públicos, cinco por cantón, lo cual representa un 4,47% del total de parques existentes en las bases de datos, con el objetivo de obtener una muestra representativa del arbolado urbano que abarca diversidad de especies, estructuras y condiciones de manejo. Este número de muestras las definimos con base en criterios de factibilidad metodológica y eficiencia operativa, considerando la disponibilidad temporal del estudio, los recursos humanos y logísticos disponibles, la necesidad de realizar censos completos por parque y la garantía de precisión en las mediciones dasométricas y fitosanitarias.

La selección de los parques la realizamos de manera sistemática, mediante el uso de imágenes satelitales, cartografía y bases de datos municipales para identificar los espacios con cobertura arbórea significativa dentro de cada cantón. Consideramos la disponibilidad total de áreas verdes, la presencia de arbolado y la heterogeneidad funcional y estructural de los parques. Consideramos destacar que el criterio de “parque público” es establecido según cada gobierno local, por lo tanto, estas áreas podrían componerse incluso de áreas grises, plazas o lotes baldíos.

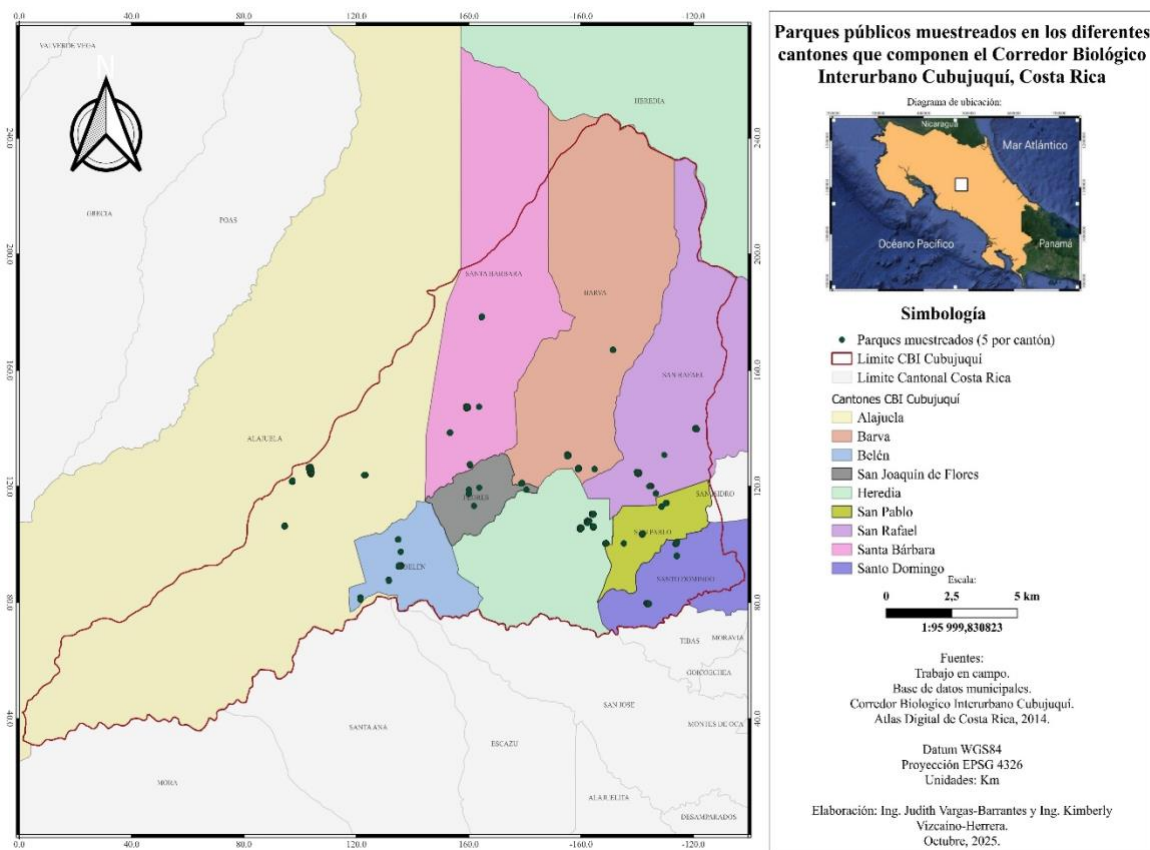


Fig. 1. Área de estudio, Corredor Biológico Interurbano Cubujuquí, Costa Rica

Cada cantón posee entre 9 y 217 parques urbanos (TABLA 1), de los cuales, una proporción considerable carece de árboles y se destina a usos recreativos, deportivos o de esparcimiento sin

cobertura vegetal, como zonas pavimentadas. Por esta razón, seleccionamos exclusivamente aquellos parques con arbolado para la medición de biomasa y carbono. Igualmente, reconocemos la diversidad en tamaño, forma y función de todos los parques que varía desde pequeñas plazas hasta parques de mayor extensión con vegetación madura. Esta heterogeneidad constituyó un criterio clave de selección, dado que permitió representar distintos tipos de estructura vegetal y condiciones de manejo dentro del entorno urbano.

Cada parque seleccionado fue censado completamente, considerando todos los individuos con diámetro a la altura del pecho (DAP) ≥ 10 cm. Los censos se realizaron entre los meses de abril y junio de 2025 (TABLA 1), numerando consecutivamente cada árbol en su sitio de muestreo. La intensidad de muestreo se definió en función de los criterios de representatividad y factibilidad técnica previamente descritos.

TABLA 1
Representatividad del muestreo de parques públicos en cantones seleccionados del
Corredor Biológico Interurbano Cubujuquí.

Cantón	Cantidad total de parques	Cantidad de parques muestreados	Porcentaje muestreado del total (%)	Nombre de los parques seleccionados
Alajuela	217	5	2,30	Parque Baviera
				Parque Central Alajuela (de los mangos)
				Parque El Bosque
				Parque Juan Santamaría
				San Antonio del Tejar
Heredia	470	5	1,06	Alfredo González Flores (Embarazadas)
				Parque Cubujuquí
				Parque Juan de Jesús Flores Umaña (Los Ángeles)
				Parque Manuel María Gutiérrez (El Carmen)
				Parque Nicolás Ulloa Soto (Central)
San Pablo	62	5	8,06	La Estrella
				Parque Edwin León Villalobos
				Rincón de las Flores
				Santa Isabel
				Santa Isabel Este
San Rafael	47	5	10,64	Calle Hernández-Kitimak
				Parque Central San Rafael
				Parque Urbanización Vistas del Tural
				Residencial Cozumel
Barva	59	5	8,47	Urbanización Malinche
				Doña Blanca
				Jardines del Beneficio
				Parque Central Barva
				Parque Residencial Plantación
				Parque Santa Lucía / La Guardia

Cantón	Cantidad total de parques	Cantidad de parques muestreados	Porcentaje muestreado del total (%)	Nombre de los parques seleccionados
Santa Bárbara	15	5	33,33	Katsi
				Marbella
				Parque Central Arístides
				Parque Residencial Sifuentes
				Parquecito San Bosco
Santo Domingo	58	5	8,62	Coquiba
				La Quintana
				Parque central
				Parque Primero de Mayo
				Quizarco oeste
San Joaquín de Flores	9	5	55,56	Parque La Bomba
				Parque Residencial Villa Luciana
				Parque Residencial Villa Luciana 2
				Parque Urbanización La Floresta
				Parque Urbanización Las Flores
Belén	70	5	7,14	Malinche del Río
				Parque CEN CINAI
				Parque Central Belén
				Parque Residencial Belén
				Parque Residencial Estancias de la Ribera
TOTAL:	1007	45	4,47	

Fuentes e instrumentos de recopilación de datos: en cada parque recorrimos el área registrando todos los individuos elegibles según el criterio de DAP. Cada registro incluyó variables dasométricas, estado fitosanitario y ubicación geográfica por medio de GPS. Para la evaluación sanitaria aplicamos una matriz adaptada de Vargas (2021) y Alfaro-Rojas (2020), asignando valores de peso a síntomas específicos y calculando el porcentaje de afectación y grado de severidad. El estado fitosanitario final lo clasificamos como excelente, bueno, regular o grave. Los datos se obtuvieron en campo entre el 8 de abril y el 17 de junio de 2025. Las mediciones incluyeron:

1. Diámetro a 1,3 m (DAP) con cinta diamétrica.
2. Altura total estimada con hipsómetro.
3. Identificación botánica de la especie.
4. Georreferenciación de cada individuo con GPS.
5. Evaluación fitosanitaria mediante observación directa y registro en matriz.
6. Observaciones complementarias según condiciones de campo.

Para las variables fitosanitarias, asignamos un valor de peso a cada síntoma, en función del riesgo que representa para la vitalidad del árbol (TABLA 2). Además, a cada sección del individuo le asociamos los síntomas detectados junto con su valor correspondiente (TABLA 3)

TABLA 2

Nivel de daño, descripción y valor de peso, para la evaluación de síntomas en los árboles.

Nivel	Valor	Descripción
Leve	1	El síntoma causa al árbol un daño estético y no representa un riesgo en la funcionalidad del árbol.
Medio	2	El síntoma causa algún daño que puede comprometer al árbol, su funcionalidad y estructura a largo plazo.
Alto	3	El síntoma causa algún daño que compromete la funcionalidad, estructura y vitalidad del árbol.

TABLA 3

Síntomas evaluados y valor de peso para cada uno de estos.

Síntoma	Valor de peso
Tumor	1
Herida	1
Ataque de insectos	2
Roya	2
Clorosis	2
Pudrición	3
Cancro	3
Manchas	3
Marchitamiento	3

* Adaptado de “Sanidad forestal y potencial de arborización de áreas urbanas del distrito central de San Ramón, Alajuela, Costa Rica”, Vargas (2021); adaptado de “Clasificación de síntomas de enfermedades forestales. Segunda parte”, Arguedas (2008), Revista Forestal Mesoamericana Kurú; adaptado de “Propuesta técnica de manejo para el arbolado urbano presente en el distrito San Vicente del Cantón de Moravia, San José, Costa Rica”, Alfaro-Rojas (2020), Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Análisis y cálculo de variables: la estimación del *stock* de CO₂ y del estado fitosanitario del arbolado la realizamos mediante la aplicación de fórmulas a los valores recolectados en campo.

Cálculo reservas de carbono:

-Biomasa total: fórmula 1, ($AGB = (V \times FEB \times DE) + \text{porcentaje de biomasa radical}$), donde: AGB= biomasa, V = volumen (m³), FEB= factor de expansión de biomasa (IPCC, 2006), DE= densidad específica y 0,27= porcentaje de biomasa de raíz (IPCC, 2006).

-Densidad específica: valores obtenidos de bases de datos internacionales (GlobAllomeTree e ICRAF); además, utilizamos un valor de $0,5 \text{ g/cm}^3$ por defecto en la IPCC para especies sin datos registrados.

-Factor de expansión de biomasa: aplicamos un valor promedio conservador de 1,6 que es el resultado de los valores que se encuentran entre la categoría de 11-120cm, de acuerdo con los valores presentados en el cuadro 4,5, página 61 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (IPCC, 2006).

-Carbono por individuo: fórmula 2, $C = AGB \times FC$. Donde: C = carbono, AGB= biomasa y FC= fracción de carbono (0,47) (IPCC, 2006)

-CO₂ equivalente: fórmula 3, $\text{CO}_2 = C \times 3,667$ (IPCC, 2006).

-Volumen: fórmula 4, utilizando la fórmula de Espinoza (2009), $V = (d^{2,03986}) * (h^{0,779}) / (10^{4,07682})$, donde: V = volumen (m³), d = diámetro del fuste en centímetros tomado a 1,30m de altura a partir de la base y h = altura total en metros

-Stock total: sumatoria de carbono y CO₂ de todos los árboles.

Cálculo estado fitosanitario:

Fórmula 5, severidad (S): $S = \sum (Vp * \alpha) / 9$, donde: S= valor de severidad, Vp = valor de peso para cada síntoma, α = cantidad de síntomas encontrados en el árbol y 9 es la cantidad de síntomas evaluados en total

Porcentaje de afectación: fórmula 6, porcentaje afectación (%) = $(S * 10)$, donde: S= valor de severidad de afectación del árbol.

Esto último es interpretado según cuatro categorías de grado de afectación:

Leve, cuando el porcentaje de afectación es menor o igual al 24%.

Medio, cuando el nivel de afectación se encuentra entre un 25 y un 49%.

Alto, cuando el porcentaje de afectación oscila entre un 50 y un 74%.

Crítico, cuando la afectación supera el 75%.

Adaptado de “Sanidad forestal y potencial de arborización de áreas urbanas del distrito central de San Ramón, Alajuela, Costa Rica”, Vargas (2021); adaptado de “Informe de arbolado. Evaluación de riesgo”, Delgado (2018), Instituto Ayuntamiento de Torrelodones.

Estado fitosanitario final: asignamos el estado fitosanitario como excelente, bueno, malo, grave, según el grado de afectación que presenta cada individuo (TABLA 4).

TABLA 4

Estado fitosanitario según el grado de afectación, el valor y la descripción de este.

Grado de afectación	Estado	Valor	Descripción
Leve	Excelente	1	Individuo no presenta un grado de afectación significativa, no se ve comprometida la vitalidad y permanencia de este en el sitio
Medio	Bueno	2	El grado de afectación es bajo, se debe dar un monitoreo.
Alto	Regular	3	El grado de afectación es alto, las funciones y estructura pueden verse comprometidas, el individuo debe ser tratado para que no empeore su estado fitosanitario.
Crítico	Grave	4	El individuo se ve comprometido en estructura, función y vitalidad, permanencia en sitio puede ser riesgosa.

RESULTADOS

Composición arbórea: en los nueve cantones evaluados del CBI Cubujuquí inventariamos cinco parques por cantón para un total de 45 parques muestreados, de los cuales logramos obtener una muestra de 1256 individuos arbóreos distribuidos (TABLA 5.).

En total, registramos 117 especies diferentes en la muestra tomada, esto refleja que hay una amplia variedad de especies a lo largo de la trama verde del CBI Cubujuquí que están brindando diversos servicios ecosistémicos a las zonas urbanas de estos nueve cantones. Encontramos especies presentes en la mayoría de los cantones y parques evaluados, las cuales son comúnmente utilizadas en procesos de arborización urbana debido a su valor ornamental, su capacidad de adaptación a las condiciones urbanas y los bajos requerimientos de mantenimiento que presentan

TABLA 5
Cantidad de individuos y especies por cantón y total de la muestra del Corredor Biológico Interurbano Cubujuquí

Cantón	Cantidad de árboles	Cantidad de especies
Santo Domingo	189	33
San Pablo	71	27
Belén	133	32
Heredia	267	45
Flores	37	15
Alajuela	188	44
Santa Bárbara	146	36
Barva	106	27
San Rafael	119	29
Total muestreado	1256	117

* El total de especies (117) corresponde al número de especies únicas registradas en la muestra del CBI Cubujuquí. No representa la suma de los valores por cantón (288), debido a que existen especies presentes en más de un cantón.

Identificamos 12 especies como las más comunes en el Corredor Biológico Interurbano Cubujuquí, presentes en al menos seis de los nueve cantones y en dos o más de los cinco parques evaluados por cantón (Fig. 2). Las especies con mayor presencia y registradas en los nueve cantones fueron *Tabebuia rosea* (roble de sabana) con 161 individuos y *Acnistus arborescens* (güitite) con 61. Por otra parte, encontramos especies con un único individuo a lo largo de la muestra tomada en los 45 parques del CBI Cubujuquí, entre ellas: *Dillenia indica*, *Chrysophyllum cainito*, *Syzygium cumini*, *Artocarpus altii*, *Lonchocarpus parviflorus* y *Albizia adinocephala*.

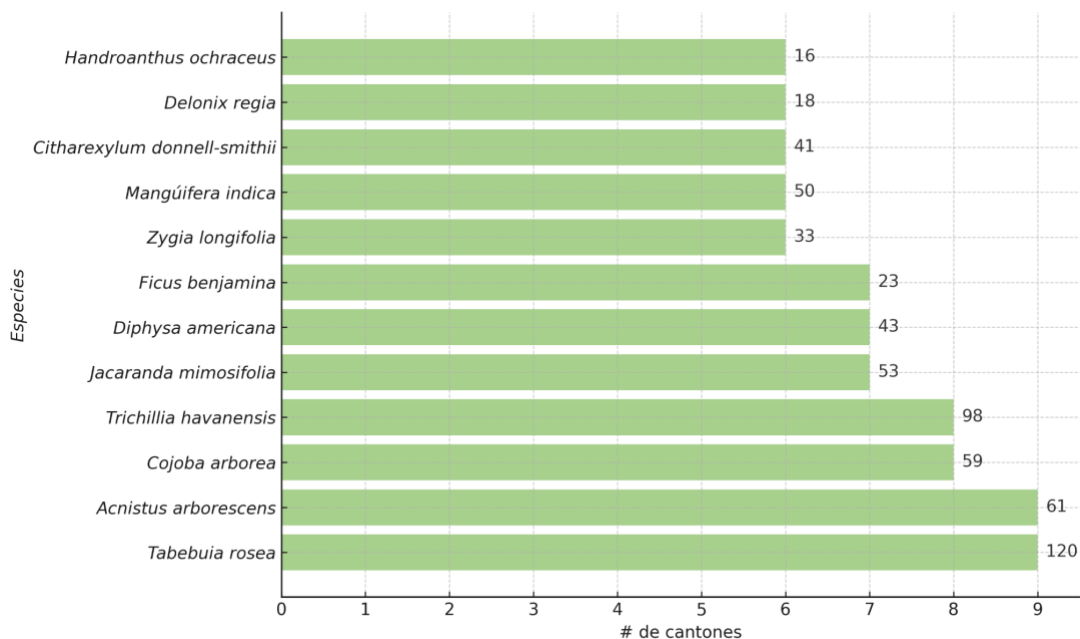


Fig. 2. Especies más comunes de los parques públicos muestreados en los nueve cantones del Corredor Biológico Interurbano Cubujuquí.

Carbono: los resultados muestran una clara heterogeneidad en la capacidad de captura de carbono entre cantones del CBI. Alajuela sobresale con 27,625Mg de C y 101,301Mg de CO₂, siendo el cantón con mayor aporte (TABLA 6). Esto refleja la presencia de áreas verdes con árboles de gran porte y parques extensos, como el Parque Central de Alajuela, que por sí solo almacena 23,009Mg de C (84,343Mg de CO₂), representando más del 30% del *stock* total del área muestreada. Esto lo posiciona como un espacio urbano crítico para la mitigación del cambio climático.

Por el contrario, cantones como Flores y San Pablo presentan valores mínimos de captura (0,446 y 1,027Mg de C, respectivamente). Esta baja contribución probablemente se relaciona con la limitada cobertura arbórea y el menor tamaño de los parques. Heredia y Belén se ubican en un rango intermedio, con 12,686 y 8,499Mg de C, respectivamente, confirmando que mantienen áreas verdes de relevancia. Asimismo, los parques como el Nicolás Ulloa Soto (5,617Mg de C) y el Santa Lucía/La Guaria (2,993Mg de C) destacan como sumideros importantes a nivel local.

En conjunto, los nueve cantones analizados almacenan un total de 74,784Mg de C lo que corresponde aproximadamente a 261,876Mg de CO₂. Dicho valor total representa la cantidad de CO₂ que permanece fijada en la biomasa y no se encuentra en la atmósfera, lo cual contribuye significativamente a la mitigación del cambio climático.

TABLA 6

Carbono y dióxido de carbono almacenado en parques públicos muestreados por cantón del Corredor Biológico Interurbano Cubujuquí

Cantón	Nombre del parque	Carbono total (Mg)	Dióxido de carbono total (Mg)
Santo Domingo	Coquiba	0,778	2,853
	La Quintana	0,176	0,645
	Parque Central	5,232	19,185
	Parque Primero de Mayo	1,469	5,385
	Quizarco oeste	0,443	1,624
Subtotal Santo Domingo:		8,097	29,693
San Pablo	La Estrella	0,408	1,497
	Parque Edwin León Villalobos	0,145	0,530
	Rincón de las Flores	0,032	0,118
	Santa Isabel	0,388	1,424
	Santa Isabel Este	0,054	0,196
Subtotal San Pablo:		1,027	3,766
Belén	Malinche del Río	0,988	3,624
	Parque CEN CINA	0,116	0,427
	Parque Central Belén	1,361	4,991
	Parque Residencial Belén	5,661	20,760
	Parque Residencial Estancias de la Ribera	0,372	1,363
Subtotal Belén:		8,499	31,164

Cantón	Nombre del parque	Carbono total (Mg)	Dióxido de carbono total (Mg)
Heredia	Alfredo González Flores (Embarazadas)	0,672	2,463
	Parque Cubujuquí	0,399	1,463
	Parque Juan de Jesús Flores Umaña (Los Ángeles)	2,275	8,341
	Parque Manuel María Gutiérrez (El Carmen)	3,724	13,657
	Parque Nicolás Ulloa Soto (Central)	5,617	20,597
Subtotal Heredia:		12,686	46,521
San Joaquín de Flores	Parque La Bomba	0,005	0,019
	Parque Residencial Villa Luciana	0,229	0,840
	Parque Residencial Villa Luciana 2	0,118	0,432
	Parque Urbanización La Floresta	0,066	0,241
	Parque Urbanización Las Flores	0,028	0,102
Subtotal San Joaquín de Flores:		0,446	1,634
Alajuela	Parque Baviera	0,343	1,258
	Parque Central Alajuela (de los mangos)	23,009	84,373
	Parque El Bosque	0,557	2,044
	Parque Juan Santamaría	2,328	8,538
	San Antonio del Tejar	1,387	5,088
Subtotal Alajuela:		27,625	101,301
Santa Bárbara	Katsi	0,740	1,575
	Marbella	0,470	0,999
	Parque Central Aristides	4,861	10,342
	Parque Residencial Sifuentes	0,237	0,504
	Parquecito San Bosco	1,720	3,659
Subtotal Santa Bárbara:		8,027	17,079
Barva	Doña Blanca	0,402	1,474
	Jardines del Beneficio	0,349	1,280
	Parque Central Barva	1,430	5,245
	Parque Residencial Plantación	0,176	0,646
	Parque Santa Lucía / La Guardia	2,993	10,975
Subtotal Barva:		5,350	19,619
San Rafael	Calle Hernández-Kitimak	0,406	1,488
	Parque Central San Rafael	2,063	7,566
	Parque Urbanización Vistas del Tural	0,036	0,132
	Residencial Cozumel	0,346	1,268
	Urbanización Malinche	0,175	0,643
Subtotal San Rafael:		3,026	11,097
Total general:		74,784	261,876

Estado fitosanitario: el estudio del análisis del estado fitosanitario que realizamos a cada uno de los individuos arbóreos encontrados en los 45 parques evaluados del CBI Cubujuquí, dio como resultado que el 100% de los árboles se encuentran en la categoría de estado fitosanitario excelente (TABLA 7). Todos los árboles que evaluamos tienen un porcentaje de afectación menor o igual a 24% y según la matriz que utilizamos con este porcentaje, los individuos entran en categoría excelente (TABLA 4). Al realizar una extrapolación de los datos a nivel de cantón obtuvimos que los nueve cantones evaluados presentan un estado fitosanitario excelente en los árboles que se encuentran en sus parques.

TABLA 7

Estado fitosanitario extrapolado a cada cantón y a toda la muestra CBI Cubujuquí

Cantón	Porcentaje de severidad (%)	Porcentaje de afectación (%)	Estado fitosanitario
Santo Domingo	0,23	2,28	Excelente
San Pablo	0,35	3,52	Excelente
Belén	0,18	1,85	Excelente
Heredia	0,49	4,89	Excelente
Flores	0,57	5,71	Excelente
Alajuela	0,36	3,56	Excelente
Santa Bárbara	0,21	2,11	Excelente
Barva	0,23	2,29	Excelente
San Rafael	0,34	3,37	Excelente
Promedio de la muestra	0,33	3,29	Excelente

Evaluamos 1256 árboles en el CBI Cubujuquí, de los cuales el 77,23% presentó algún tipo de síntoma, leve en su mayoría (TABLA 8). El síntoma más frecuente fue el ataque de insectos, presente en el 30,89% de los individuos, seguido de clorosis (23,73%) y manchas foliares (11,94%). Estos síntomas, a pesar de ser los más comunes en los árboles de los parques del CBI Cubujuquí, no comprometen significativamente su salud ni permanencia.

Los síntomas de tumor y pudrición en ramas o fuste no se observaron en ninguno de los árboles lo que sugiere que, si bien, existen problemas generalizados de plagas y nutrición, no hay una presencia importante de patologías de mayor severidad estructural en el arbolado.

Observamos que la especie con más síntomas es *Tabebuia rosea* (Roble de sabana) principalmente afectada a nivel foliar (hojas), con ataque de insectos, clorosis, roya, manchas y marchitamiento. Además, esta especie es una de las más comunes, encontrándose en todos los cantones del CBI en uno o más de sus parques.

Los daños presentados fueron principalmente, manchas, clorosis y la afectación más frecuente fue el ataque de insectos en una gran cantidad de individuos, los cuales presentaron

mordeduras en hojas, principalmente realizadas por las hormigas zompopas (*Atta* sp.). En el sitio se observaron los nidos de estos insectos, así como caminos y la presencia de los individuos.

TABLA 8

Cantidad y porcentaje de árboles en los parques públicos muestreados del Corredor Biológico Interurbano Cubujuquí, afectados por cada síntoma evaluado.

Síntomas	Cantidad de árboles	Porcentaje (%) con base al total de árboles
Tumor	0	0,00
Herida	17	1,35
Ataque de insectos	388	30,89
Roya	76	6,05
Clorosis	298	23,73
Pudrición	0	0,00
Cancro	2	0,16
Manchas	150	11,94
Marchitamiento	39	3,11
Total	970	77,23

DISCUSIÓN

El inventario de 1256 individuos arbóreos en los 45 parques públicos de los nueve cantones del Corredor Biológico Interurbano (CBI) Cubujuquí evidenció una alta diversidad de especies (117 en total), lo cual representa un aporte significativo a la conectividad ecológica y a la provisión de servicios ecosistémicos urbanos.

Las especies más comunes, como *Tabebuia rosea*, *Cojoba arborea*, *Jacaranda mimosifolia*, *Diphysa americana* y *Zygia longifolia* coinciden con las reportadas en otros estudios realizados en zonas urbanas de Costa Rica y otros países tropicales. Estas coincidencias evidencian patrones de selección similares en la arborización urbana, asociados a su buena adaptación a entornos urbanos, su valor ornamental y la facilidad para su propagación y obtención en viveros forestales (Poveda & Corrales, 2025).

Mediante el muestreo determinamos un almacenamiento total de 74,784Mg de carbono ($\approx 261,876\text{Mg}$ de CO_2) en el arbolado de los parques públicos muestreados. Estos valores se sitúan por debajo de los reportados por Sánchez Sibaja et al. (2022), quienes determinaron 443,25Mg de carbono en diez parques urbanos de San José por medio de la herramienta i-Tree Eco. Las diferencias observadas pueden atribuirse a la densidad arbórea, la extensión de las áreas verdes y la estructura diamétrica de los árboles, factores que condicionan la capacidad de almacenamiento de carbono por unidad de superficie. No obstante, ambos estudios coinciden en que la vegetación urbana cumple un papel relevante en la mitigación climática y en la provisión de servicios ecosistémicos, incluso en contextos metropolitanos densamente poblados.

Aun con estas diferencias, los resultados obtenidos son coherentes con la literatura urbana tropical y evidencian que la cobertura arbórea municipal constituye un reservorio significativo de

carbono. Tal como lo señala Avellán Zumbado (2020), la gestión del arbolado urbano en Costa Rica debe incorporar herramientas de monitoreo y manejo, basadas en datos cuantitativos para maximizar el potencial de mitigación climática en espacios verdes públicos.

En estado fitosanitario, los resultados muestran que la totalidad de los árboles fueron clasificados en la categoría de “excelente” con un promedio de afectación para toda la muestra del 3,29%. Esto es positivo en términos de calidad del paisaje en espacios públicos del CBI Cubujuquí, provisión de SE, como lo es el SE de regulación de captura de carbono porque se ha evidenciado que el almacenamiento de carbono mejora cuando los árboles se encuentran saludables (Nowak et al., 2011). Empero, observamos síntomas relevantes como el ataque de insectos (30,89%), el cual, el más presente en los árboles evaluados, principalmente en la defoliación de las hojas. Lo que coincide con otros estudios realizados sobre el estado fitosanitario de árboles en las zonas urbanas como el de Vargas (2021), realizado en el cantón de San Ramón, en donde los principales daños en las hojas fueron causados por insectos. Por otro lado, en el estudio Inventario de la foresta en San José de Sánchez y Artavia (2013), el mayor daño de los individuos arbóreos se encuentra en el tronco; sin embargo, la segunda afectación con mayor porcentaje es el ataque de insectos.

La clorosis (23,73%) y las manchas foliares (11,94%) son otros de los síntomas presentes en los árboles evaluados. Estudios como el de Vargas (2021) en el cual, los árboles también se ven afectados por estos síntomas, se menciona que, en los árboles urbanos son consistentes con deficiencias de nutrientes esenciales y déficit de agua o estrés hídrico, factores ligados a condiciones urbanas (sellado, compactación, manejo del riego y cambio del uso de suelo).

El hallazgo de que *Tabebuia rosea* fue una de las especies más afectadas por los síntomas foliares evaluados, coincide con estudios como el de Vargas (2021) realizado en Costa Rica o el de Del-Rosario et al. (2023) en Panamá, quienes han documentado que el roble de sabana es una de las especies que presenta mayores afectaciones fitosanitarias en ambientes urbanos.

La ausencia de síntomas de mayor severidad estructural, como tumores y pudriciones, sugiere que el arbolado de los parques públicos muestreados del CBI Cubujuquí mantiene una condición estable. Esto es relevante desde la perspectiva del manejo urbano, debido a que se ha demostrado en diferentes estudios que el hecho de conocer los síntomas puntuales permite implementar estrategias preventivas y de control focalizado sin necesidad de intervenciones drásticas, como talas o podas masivas (Sjöman & Nielsen, 2010; Cercas, 2021).

Los principales síntomas que observamos no comprometen de manera severa la supervivencia ni la permanencia de los individuos en los parques muestreados. No obstante, a largo plazo la ausencia de un manejo adecuado podría generar afectaciones tanto en la calidad estética del paisaje como en la capacidad de provisión de servicios ecosistémicos en los espacios públicos (Nowak et al., 2014).

Los resultados que obtuvimos demuestran que los parques públicos del CBI Cubujuquí constituyen espacios urbanos de relevancia ecológica, no solo por su aporte a los servicios culturales y de soporte, sino también, por su papel fundamental como sumideros urbanos de carbono. La capacidad de almacenamiento evidencia que las áreas verdes urbanas, además de embellecer y mejorar la calidad de vida, contribuyen activamente a la regulación climática mediante la captura y retención de gases de efecto invernadero.

El excelente estado fitosanitario, en el que el promedio de afectación del arbolado en los 45 parques públicos muestreados del CBI es de 3,29%, refleja condiciones favorables de manejo y calidad ambiental, pero requiere programas permanentes de monitoreo y control de plagas y enfermedades, así como fortalecer la articulación entre dichas prácticas y las políticas municipales mejorará la resiliencia climática y los servicios ecosistémicos de la trama verde del corredor.

En este sentido, los parques públicos constituyen infraestructura ecológica estratégica dentro del Corredor Biológico Interurbano Cubujuquí, al aportar servicios ecosistémicos claves para la regulación climática y la conectividad ecológica que complementan los beneficios sociales y recreativos tradicionalmente reconocidos. Los resultados que generamos en este estudio fortalecen la gobernanza y la planificación estratégica del corredor, al proveer insumos técnicos que orientan la conservación, el manejo fitosanitario y la diversificación de especies. Lo anterior contribuye a la resiliencia urbana frente al cambio climático y al cumplimiento de los objetivos del CBI.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Fondo para el Fortalecimiento de las Capacidades Estudiantiles (FOCAES) por el financiamiento del proyecto, al Proyecto Corredor Biológico Interurbano Cubujuquí (SIA 0102-24), a la Universidad Nacional, Costa Rica (UNA) y al Fondo Especial para la Educación Superior (FEES), cuyo aporte y apoyo hicieron posible el desarrollo de este estudio. Finalmente, a nuestra familia por todo el amor y apoyo brindado durante el proceso.

ÉTICA, CONFLICTO DE INTERESES Y DECLARACIÓN DE FINANCIAMIENTO

Los autores declaran haber cumplido cabalmente con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la producción del manuscrito; que no existen conflictos de intereses de ningún tipo; que todas las fuentes financieras estén completa y claramente indicadas en la sección de agradecimientos y que están totalmente de acuerdo con la versión final editada del artículo. Un documento firmado ha sido guardado en los archivos de la revista.

La declaración de la contribución de cada autor al manuscrito es la siguiente: JVB, KVH, RVC, TBR y ADT: diseño del estudio. JVB y KVH: recopilación y análisis de datos y preparación final del manuscrito. JVB, KVH, RVC, TBR y ADT: aprobación final del manuscrito.

REFERENCIAS

- Alfaro-Rojas, C. (2020). *Propuesta técnica de manejo para el arbolado urbano del distrito de San Vicente del cantón de Moravia, San José, Costa Rica*. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/11522>
- Arguedas-Gamboa, M. (2006). Clasificación de tipos de daños producidos por insectos forestales. Segunda parte. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 3(9), 64. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/508/435>
- Calaza Martínez, P. (2016). *Infraestructura verde. Sistema natural de salud pública*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Cercas Pérez, J. F. (2021). *Servicios ecosistémicos y gobernanza del arbolado urbano en San José, Costa Rica* [Informe técnico]. Repositorio CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/11596>



- Delgado, A. (2018). *Informe de arbolado. Evaluación de riesgo*. Valoriza medioambiente y Ayuntamiento de Torrelodones. Studocu.com. <https://www.studocu.com/bo/document/universidad-mayor-de-san-simon/base-de-datos-ii/informe-arbolado/73574916>
- Del-Rosario, E., Espinosa, A., Romero, I., & Sarmiento, A. (2023). Estado Fitosanitario de 5 Especies Arbóreas, en Relación al Nivel de Contaminación por Tráfico Vehicular. En *Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología–APANAC* (pp. 326-333).
- Dobbs, C., Escobedo, F. J., & Zipperer, W. C. (2011). A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landscape and urban planning*, 99(3-4), 196-206. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.11.004>
- Elmqvist, T., Setälä, H., Handel, S. N., van der Ploeg, S., Aronson, J., Blignaut, J. N., ... & de Groot, R. (2015). Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current opinion in environmental sustainability*, 14, 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.05.001>
- Espinoza, L. (2009). *Metodología para el procesamiento de información de inventarios forestales por muestreo y censo comercial*. Serie Herramientas, Libro 3. Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de Ciencias Forestales.
- Fernández, I. C., De la Barrera, F., Figueroa, J., & Lazzoni, I. (2018). Biodiversidad urbana, servicios ecosistémicos y planificación ecológica: Un enfoque desde la ecología del paisaje. En F. De la Barrera & I. Henríquez (Eds.), *Biodiversidad urbana en Chile: Estado del arte y los desafíos futuros* (pp. 113–146). Universidad de Chile.
- Gómez-Baggethun, E., Gren, Å., Barton, D. N., Langemeyer, J., McPhearson, T., O'farrell, P., ... & Kremer, P. (2013). Urban ecosystem services. In *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: Challenges and opportunities: A global assessment* (pp. 175-251). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7088-1_11
- IPCC. (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. IGES. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- IPCC. (2022). *AR6 WGIII – Chapter 8: Urban systems and other settlements*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/chapter/chapter-8/>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press.
- Morrison, S. A., & Boyce, W. M. (2009). Conserving connectivity: some lessons from mountain lions in southern California. *Conservation Biology*, 23(2), 275-285.
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental pollution*, 193, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.028>

- Nowak, D. J., Robert III, E., Crane, D. E., Weller, L., & Dávila, A. (2011). *Evaluación de los efectos y valores de los bosques urbanos: Bosque urbano de Los Ángeles* (Boletín NRS-47). Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal, Estación de Investigación del Norte. <https://doi.org/10.2737/NRS-RB-47>
- Pereira, M. M. (2015). *Las áreas verdes urbanas como generadoras de eco servicios para el bienestar humano propuesta de gestión de parques para la Localidad de Engativá*. <http://hdl.handle.net/10554/17959>
- Poveda Wong, G., & Corrales Chaves, L. (2025). *Evaluación del riesgo climático de las especies de árboles presentes en los parques urbanos públicos de Curridabat, San José, Costa Rica*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-catie-11554-12846/Description>
- Sánchez, G., & Artavia, R. (2013). Inventario de la foresta en San José: gestión ambiental urbana. *Ambientico*, 232, 233, 26-33.
- Sánchez Sibaja, G., Orozco-Aguilar, L., & Cercas Pérez, J. F. (2022). Cuantificación de los servicios ecosistémicos en 10 parques urbanos de San José. *Ambientico*, 281, 67–72. Universidad Nacional de Costa Rica. <https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/37833/010-Sanchez-Orozco-Cercas.pdf>
- Sistema Costarricense de Información Jurídica (SCIJ). (2016). *Decreto Ejecutivo N.º 40043-MINAE*. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_articulo.aspx?param1=NRA&nValor1=1&nValor2=83424&nValor3=107128&nValor4=-1&nValor5=2&nValor6=31/08/2016&strTipM=FA
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2024). *Ficha técnica: Propuesta de creación del Corredor Biológico Interurbano Cubujuquí*.
- Sjöman, H., & Nielsen, A. B. (2010). Selecting trees for urban paved sites in Scandinavia—A review of information on stress tolerance and its relation to the requirements of tree planners. *Urban Forestry & Urban Greening*, 9(4), 281-293. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2010.04.001>
- Vargas, C. (2021). *Sanidad forestal y potencial de arborización de áreas urbanas del distrito central de San Ramón, Alajuela, Costa Rica*. Universidad de Costa Rica. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/12404/TFG_Ronald_Vargas_Chavarra%20C3%ADa.pdf?sequence=1
- Zumbado, M. J. A. (2020). Gestión del arbolado urbano en Costa Rica: desafíos y oportunidades. *Ambientico*, (275), 30-36. https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/31132/275_30-35.pdf