

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR**

**ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES**

**LICENCIATURA EN INGENIERIA EN CIENCIAS FORESTALES**

**Propuesta en Estructura y Composición Florística para la trama verde urbana actual del cantón de San Pablo de Heredia, Costa Rica**

**Trabajo de graduación modalidad Artículo Científico sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional Costa Rica para optar el grado de Licenciatura en Ingeniería en Ciencias Forestales, énfasis Manejo Forestal**

**Postulantes**

**Benavides Mora Oscar Enrique**

**Solano León Esteban Alexis**

**Heredia, Costa Rica**

**Agosto, 2023**

**I. Acta de aprobación**

Trabajo de graduación aprobado por el tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional de Costa Rica, para optar al grado de Licenciatura en **Ingeniería en Ciencias Forestales con énfasis en Manejo Forestal**.

**II. MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR**

.....  
**Representante Decanato de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar**

.....  
**Representante Escuela de Ciencias Ambientales**

.....  
**M.Sc. Luis Gustavo Hernández Sánchez**  
**Tutor**

.....  
**M.Sc. María José Avellán Zumbado**  
**Lectora**

.....  
**Arq. Alejandra María Orozco Meza**  
**Lectora**

.....  
**Bach. Esteban Alexis Solano León**  
**Postulante del trabajo**

.....  
**Bach. Oscar Enrique Benavides Mora**  
**Postulante del trabajo**

# **Propuesta en Estructura y Composición Florística para la trama verde urbana actual del cantón de San Pablo de Heredia, Costa Rica**

Proposal in Structure and Floristic Composition for the current urban green fabric of the canton of San Pablo de Heredia, Costa Rica

**Óscar Benavides-Mora<sup>1</sup>; Esteban Solano-León<sup>2</sup>**

## **Resumen**

**[Introducción]** La ecologización del entorno urbano de Costa Rica se basa en gran medida en la disponibilidad de plantas existentes en los viveros, poca información sobre la importancia de las especies nativas y los servicios eco sistémicos que brindan, lo que resulta en una gran abundancia y frecuencia de especies inadecuadas y exóticas en nuestro entorno urbano. **[Objetivo]:** Desarrollar una propuesta de estructura y composición florística natural para la trama verde actual del cantón de San Pablo de Heredia. **[Metodología]** Para composición y estructura florística, se utilizaron las bases de datos del Censo Nacional Forestal, los registros de colectas del Departamento de Historia Natural del Museo Nacional (DH-NMN) y el Censo de Foresta Urbana de San Pablo, con lo que se determinaron valores de referencia en cuanto a densidad, alturas máximas de las especies recomendadas y se elaboró una propuesta de estructura y composición florística natural para la trama verde actual del cantón de San Pablo de Heredia. **[Resultados]** Se determinó una abundancia total de 748 árboles por hectárea y una riqueza de 186 especies, generándose una base de datos de 440 especies para atender el indicador de máximo 3 individuos de una misma especie por hectárea en el cantón de San Pablo. **[Conclusiones]** El papel de las ciudades es importante en las dinámicas ecológicas. En el caso de San Pablo de Heredia, la trama verde puede aportar indiscutiblemente a la riqueza, diversidad y conectividad del paisaje urbano. Este proyecto es un insumo importante y acercamiento a las distintas herramientas necesarias para la toma de decisiones.

**Palabras clave:** Trama verde urbano, composición florística, planificación urbana, arbolado urbano.

## Abstract

Introduction: The greening of the urban environment of Costa Rica is largely based on the availability of existing plants in nurseries, little information on the importance of native species and the ecosystem services they provide, resulting in a high abundance and frequency of inappropriate and exotic species in our urban environment, **Objective:** Develop a proposal for structure and natural floristic composition for the current green fabric of the canton of San Pablo de Heredia **Methodology:** For composition and floristic structure, the databases of the National Forest Census, the collection records of the Department of Natural History of the National Museum (DH-NMN) and the Urban Forest Census of San Pablo were used, with which values were determined. of reference in terms of density, maximum heights of the recommended species and a proposal for the structure and natural floristic composition for the current green plot of the canton of San Pablo de Heredia was prepared. **Results:** A total abundance of 748 trees per hectare and a richness of 186 species were determined, generating a database of 440 species to meet the indicator of a maximum of 3 individuals of the same species per hectare in the canton of San Pablo. **Conclusions:** The role of cities is important in ecological dynamics. In the case of San Pablo de Heredia, the green areas can undoubtedly contribute to the richness, diversity and connectivity of the urban landscape. This project is an important input and approach to the different tools necessary for decision-making at the urban tree level.

**Keywords:** Urban green fabric, floristic composition, urban planning, urban trees.

1

---

<sup>1</sup>Escuela de ciencias Ambientales, Universidad Nacional ([oscarenriquebenavides@gmail.com](mailto:oscarenriquebenavides@gmail.com))  
([esteban0788@gmail.com](mailto:esteban0788@gmail.com))

# 1 Introducción

La población urbana sigue creciendo y con ello los desafíos ambientales, alimentarios y energéticos que enfrentan las nuevas generaciones, en el actual siglo urbano, la mayor parte de la población habita en las ciudades y el desarrollo ha transformado el paisaje natural con ello se pone en evidencia la urgente necesidad de retomar la relación del medio construido con la naturaleza para favorecer la condición humana con calidad de vida.

El arbolado urbano es el componente verde de las ciudades, siendo el principal componente que estructura la biodiversidad en un medio construido. Estos espacios proporcionan a las ciudades y a sus habitantes servicios ambientales como regulación del clima, control de la erosión, recreación, turismo, polinización, estética, hábitat para fauna silvestre, captura de carbono, conectividad de los ecosistemas naturales, conservación de la biodiversidad, entre otros (Canizales *et al* 2021, Herrera 2008; Larrotta Pedraza, 2018; Fuentes & Torres 2016).

La incorporación de las áreas verdes al medio urbano se ha convertido en un papel clave en la conservación de la biodiversidad, mediante la integración de trama verde en sus diversos espacios públicos, lo que contribuye a la preservación de la biodiversidad, al mismo tiempo que aportan funciones a la sociedad. Los aportes que puede brindar la arborización urbana son conocidos como servicios ecosistémicos, los cuales son beneficios intangibles y tangibles que la naturaleza brinda a la sociedad. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (2020), estos se dividen en cuatro tipos de servicios: abastecimiento, regulación, apoyo y cultura.

La trama verde urbana (parques, áreas verdes, bulevares, isletas, áreas de juego infantil, áreas de protección, otros) es donde se desarrolla la arborización urbana, que se conoce como el crecimiento natural de uno o más árboles u otra cobertura vegetal leñosa dentro de asentamientos humanos, los cuales conllevan un manejo, con el propósito de obtener servicios ecosistémicos para los espacios donde se encuentran y sus pobladores (Sánchez (SINAC)*et al* 2015); MADES 2019; Jiménez 2013). Servicios que pueden verse disminuidos de manera sustancial si la planificación urbana no es la técnicamente más apropiado para cada caso, área y especie forestal (Aguilar *et al* 2023).

Los autores Nowak *et al* (1996), indican que estos servicios dependen estrechamente del diseño y manejo adecuado que se le da a la arborización urbana y entre los elementos más determinantes está la selección de especies, la cual debe buscar una concordancia entre la especie y el entorno donde va a ser plantada, se indica incluso que existe una necesidad de guías y metodologías con adecuados criterios técnicos (Jiménez, 2013; Nilsson *et al* 1996).

Para intentar reproducir de manera análoga un ecosistema nativo dentro de la ciudad no solo basta con conocer las especies, sino también la composición florística, caracterizándose por la distribución de los individuos de cada especie en el perfil del bosque, en capas o estratos, a lo que se le conoce como estructura vertical (Poma, 2013; Louman *et al* 2001). Y también ciertos aspectos de la estructura de un bosque los cuales se pueden determinar por medio de herramientas como “Índice de Valor de Importancia” (IVI), el cual es un análisis de la abundancia, frecuencia y dominancia de las especies de manera conjunta (Matteucci & Colma, 1982; Lamprecht 1962).

La forestaría análoga es la reproducción de una estructura física similar al bosque, la cual busca generar un ambiente con diferentes especies del bosque nativo que puedan extender su rango de

dispersión. Este proceso no se enfoca únicamente en especies arbóreas o leñosas, ya que toma en cuenta los diferentes componentes florísticos del bosque, los cuales pueden ser utilizados como insumo siempre y cuando se cuente con bases de datos adecuadas (Hernández *et al* 2013).

Campo y Duval (2014) mencionan que “la conservación de ecosistemas depende de la protección de la composición, estructura y funcionamiento de los elementos que componen su biodiversidad”. Por lo cual reproducir el comportamiento de los ecosistemas naturales dentro de las zonas urbanas, debe ser considerado como un criterio de diseño para la arborización urbana (Herrera 2008).

Debido a lo anterior, la información sobre la composición florística, la estructura horizontal y vertical, el IVI de los bosques nativos, la procedencia de las especies, entendida como "la fuente geográfica de cualquier material de una especie en su área de distribución natural o donde se ha adaptado biológicamente" (Quijada Rosas, 1992, citado por Kapeller, 2004), es vital para una adecuada planificación de la arborización urbana, ya que permite recomendar las especies y su distribución dentro de la trama verde (Kapeller, 2004).

Por ello, el estudio de las áreas verdes en los espacios urbanos tiene cada vez mayor importancia, lo cual incluye el conocimiento sobre el arbolado urbano actual, abundancia frecuencia dominancia, composición, riquezas florísticas, valor ecológico; para intentar determinar las necesidades para cada espacio utilizando información del entorno natural previo al desarrollo urbano y permitiendo desarrollar un enfoque dentro de la planificación urbana hacia la sostenibilidad. (Ortega *et al* 2022, Benedetti, *et al* 2016).

Dentro de esta planificación del arbolado urbano resulta importante la selección de las especies a plantar, ya que una mala selección y uso excesivo de pocas especies en la trama verde puede provocar una arborización urbana homogénea a nivel de biodiversidad. Por el contrario, tener una alta cantidad de especies con una adecuada distribución de individuos por especies, puede dar un efecto positivo dentro de las ciudades (Herrera, 2008); así mismo otro aspecto a considerar es los rangos de crecimiento máximos en alturas que pueden alcanzar las especies a plantar, debido las limitantes de espacio dentro de la ciudad considerando aspectos como cableados eléctricos.

No obstante, en nuestro país, las áreas verdes y el arbolado urbano no han sido prioridad en los gobiernos nacionales ni locales. Se cuenta con recursos limitados para su manejo y se presenta una escasez de estudios que demuestren el estado y los beneficios de las áreas verdes urbanas, aspectos que se reflejan en las condiciones ambientales actuales de nuestros centros urbanos y del arbolado presente, donde existen especies no adecuadas para un sitio determinado, por razones como exceso de altura, especie exótica (no es parte de ecosistema natural), densidades inadecuadas, entre otros.

Los centros urbanos del país necesitan herramientas de planificación, basadas en la evidencia científica, de indicadores de riqueza, diversidad, densidad de árboles, listados de especies idóneas y otros datos, que permitan una adecuada gestión del arbolado urbano que provea los servicios ecosistémicos a la población y a su vez contribuir a aumentar la biodiversidad de nuestras ciudades. Es por lo anterior que el objetivo de este trabajo fue desarrollar una propuesta en estructura y composición de la riqueza florística para la trama verde actual del cantón de San Pablo de Heredia, basado en la información sobre estructura, composición y riqueza florística que caracteriza al ecosistema natural previo al desarrollo urbano, como una herramienta útil en la toma de decisiones sobre la planificación del arbolado urbano.

## **2 Metodología**

### **2.1 Área de estudio**

San Pablo de Heredia es el noveno cantón de la provincia de Heredia, establecido en 1961 y con una superficie de 7,53 km<sup>2</sup> (Municipalidad de San Pablo de Heredia, 2014). El cantón se encuentra a una altitud aproximada de entre 1000 y 1260 m.s.n.m. Posee dos zonas de vida: Bosque húmedo premontano (bh-P) y Bosque muy húmedo premontano (bmh-P), que se caracterizan por contar con precipitaciones que pueden oscilar entre los 1200 y 2200 mm y los 2000 y 4000 mm, respectivamente, un período seco de entre 3,5 y 5 meses, suelos volcánicos fértiles y la mayor parte de su cobertura boscosa original perdida (Municipalidad de San Pablo de Heredia, 2019). Para la metodología se utilizó de referencia un estudio de Orozco-Meza (2013).

### **2.2 Diagnóstico de la composición florística actual del arbolado urbano de la trama verde del cantón de San Pablo**

#### **2.2.1 Área efectiva**

Se consideró como trama verde aquellos espacios propiedad y manejados por el gobierno local, los cuales presentan potencial de establecer vegetación o arbolado. Los cuales son las aceras de paso peatonal y los parques públicos. Para lo cual se realizó una revisión de los datos arrojados por el Censo de foresta Urbana de San Pablo, elaborado por la municipalidad de San Pablo en 2019.

Con respecto a aceras las variables a analizar para considerarse dentro del área efectiva fueron ancho mínimo con la Ley 7600, y disponibilidad de área contigua libre (espacio entre la acera y la carretera). Únicamente se incluyeron si cumplían ambas condiciones. Para los parques se consideró el área reportada en el censo.

Mediante el sistema de información geográfica Quantum Gis se generó cálculo de área efectiva considerando un ancho mínimo de 1.2 metros y multiplicando por la extensión reportada para aquellas aceras que cumplen con las condiciones mencionadas.

#### **2.2.2 Estructura y composición florística actual**

Se basó en el análisis de los datos Censo de foresta Urbana de San Pablo, elaborado por la municipalidad de San Pablo en 2019. A partir del cual se generó un cuadro con los datos de las especies encontradas clasificadas por aceras y parques, además se determinó el origen de dichas especies (nativa y exótica), así como el hábitat (árbol, arbusto, palma o cactus).

### **2.3 Determinación de la composición y estructura florística de la zona de vida de bosque húmedo premontano**

Este estudio se enfoca en la zona de vida bosque húmedo premontano debido que para la zona de vida Bosque muy húmedo premontano no existen registros en algunas de las bases datos consultadas.

Para la identificación de la riqueza florística se realizó una consulta al departamento de Historia Natural del Museo Nacional de Costa Rica (en adelante DH-NMN), donde se obtuvo la información de colectas tomadas desde el año 1889 hasta 2019 dentro de las zonas de vida Bosque húmedo premontano (bh-P) y Bosque muy húmedo premontano (bmh-P), en el rango altitudinal de 1000 a 1200 m.s.n.m. y correspondientes a las colectas realizadas por el Herbario Nacional del DH-NMN.

Se utilizó el Manual de Plantas de Costa Rica, volúmenes del II al VIII, para analizar cada una de las especies del listado de riqueza florística, respecto al rango altitudinal, origen de la especie y distribución natural. Con lo que se construyó una base de datos de especies recomendadas para la zona de estudio.

## **2.4 Análisis de composición y estructura**

### **2.4.1 Densidad y riqueza**

Para el cálculo de la densidad de árboles por hectárea se tomó como base los datos del Inventario Forestal Nacional (en adelante INF), 2015, en donde se utilizaron las 10 parcelas de 1000 metros cuadrados elaboradas en bosque húmedo premontano, de las cuales 3 pertenecen a bosque maduro y 7 a bosque secundario, se calculó la abundancia y riqueza de las especies por hectárea.

A la base de datos del INF se le calcularon los valores de área basal, abundancia y frecuencia por medio del software libre Jamovi, versión 1.6. Además, se calculó el Índice de Valor de Importancia (IVI) y de diversidad biológica de Shannon y Simpson. Con lo que se determinó un listado de las 10 especies con mayor peso ecológico.

### **2.4.2 Altura máxima**

Se utilizó como base de datos las especies identificadas en las parcelas utilizadas del INF, para las cuales según bibliografía (Manual de Plantas de Costa Rica, volúmenes del II al VIII), se les determinó la altura máxima, buscando analizar la estructura vertical y se generó una clasificación

Además se realizó consulta en la legislación vigente respecto a las alturas mínimas de cableado telefónico, eléctrico y de acometida, en espacios públicos para tomar estos datos como limitantes de la altura máxima en metros de la vegetación a plantar en las aceras, con lo cual se generaron 3 clasificaciones, aceras con cableado eléctrico: altura máxima 5 metros, aceras sin cableado eléctrico: altura máxima 15 metros y parques: altura máxima es la distancia entre punto de siembra y el inicio de la infraestructura pública.

## 2.5 Propuesta de composición y estructura florística basada en el ecosistema natural Bosque Húmedo Premontano para la trama verde del cantón de San Pablo de Heredia

Para los valores de referencia para la trama verde se contrastó con la información obtenida de la base de datos anterior para generar valores de referencia de cantidad de especies e individuos por hectárea para los diferentes tipos de trama verde en el cantón. Con la información anterior respecto al listado de especies para bhp y los valores de alturas, densidad, y especies para la zona de estudio. Los cuales son datos de referencia para la planificación de la foresta urbana para la trama verde de aceras y parques.

### 3 Resultados y discusión

#### 3.1 Diagnóstico del área efectiva, estructura y composición florística del arbolado urbano de la trama verde del cantón de San Pablo

Al analizar las condiciones de las calles con aceras del cantón respecto a el censo 2019, se obtuvo lo siguiente:

**Calles sin aceras:** Dado que no tiene aceras presentes no es posible considerar dentro de las opciones de área efectiva para plantar árboles.

**Calles con aceras que no cumplen el ancho mínimo de Ley 7600:** pese a tener estructura de acera esta opción tampoco puede ser considerada dentro del área efectiva ya que eventualmente se puede disponer de estas áreas afectando los individuos plantados.

**Calles con aceras que cumplen con el ancho mínimo de ley 7600 pero que no tienen área circundante disponible para plantar árboles:** pese a cumplir con la ley, al no poseer espacio para la siembra no pueden ser consideradas, debido a que no pueden ampliarse ya que la calle cuenta con el ancho mínimo, lo cual impide ampliar la acera.

**Calles con aceras que cumplen ancho mínimo según la ley 7600 y poseen área circundante disponible para plantar:** El 9 % de aceras que constituyen un área efectiva que se podrían enverdecer por cumplir con la Ley 7600 y poseer cordón verde comprenden un área de 0,75 hectáreas.

Con respecto a los parques, el cantón de San Pablo posee 99 parques, para un área total de 8,07 hectáreas. Sumando ambas áreas se obtiene un total de 8,82 hectáreas disponibles para la arborización urbana del cantón.

**Cuadro 1.** Área efectiva por tipo de trama verde presente en el cantón de San Pablo, Heredia.

Trama verde	Área (ha)
Acera	0.76
Parques	8.07

El total de espacio público con potencial de ser enverdecido o modificar la vegetación presente, equivale al 1.2% del total del área del área del cantón, sin considerar las Áreas de protección Según el censo de foresta urbana de la Municipalidad de San Pablo de Heredia. (2019), lo cual evidencia un porcentaje muy por debajo de lo recomendado por Konijnendijk (Hortipoint 2023) quien habla de que cada barrio o distrito debe estar arbolado en un 30% de su cobertura, quien además menciona que cada ciudadano debe tener un área arbolada a menos de 300 m. de su casa. Ante este escenario la municipalidad debe buscar estrategias para aumentar dicha cobertura como manejo de Áreas de Protección riverseñas sin cobertura, lotes baldíos municipales, incorporación de la comunidad generando información para el manejo de espacios privados, entre otras estrategias más radicales como adaptación de nuevos espacios.

Se pudo determinar una dominancia de las especies exóticas dentro del espacio público (ver cuadro 2), representadas por 107 especies, contra las 95 que corresponden a nativas, aumenta la predominancia de las exóticas al determinar la cantidad de individuos, al ser únicamente el 30% de los individuos de espacio público nativos, esto genera preocupación como indica Andreu J, Vilà M. (2007), el exceso de especies exóticas genera afectaciones negativas sobre la conservación de la naturaleza, que pueden llegar repercutir en altos costos económicos, lo que se ejemplifica con especies como Laurel de la india (*Ficus benjamina*), con la destrucción de infraestructura, o la invasiva Llama del bosque (*Spathodea campanulata*), en las que los municipios deben estar invirtiendo para su adaptación a los entornos de la ciudad, generando costos fijos para su manejo, o por su eliminación por eso es de gran importancia tener bases de datos y criterios científicos para la adecuada selección de especies nativas, con el fin de reducir eventuales afectaciones negativas Tovar, G. (2006).

**Cuadro 2.** Origen de los hábitos encontrados en el censo de foresta urbana de San Pablo de Heredia.

Hábito	Nativa	Exótica	Total
Árbol	636	714	1350
Arbusto	305	749	1054
Cactus		8	8
Palma	3	744	747
<b>Total general</b>	<b>944</b>	<b>2215</b>	<b>3159</b>

Sumado a lo indicado por Gómez (2018) que al ampliar la diversidad de especies en el arbolado de las ciudades, se genera más resistencia al ataque de plagas o enfermedades, favorece la resiliencia del arbolado ante las continuas alteraciones de la ciudad, mejora la diversidad del paisaje generando recursos estéticos, tomando en cuenta que según el censo de foresta urbana el área total del cantón y la vegetación presente en espacio público, solo se tienen 22 individuos y 0.27 especies por hectárea.

### 3.2 Determinación de la composición y estructura florística de la zona de vida de bosque húmedo premontano

Para la identificación de la riqueza florística, según los registros obtenidos del DH-NMN, se obtuvo una riqueza de 975 especies registradas, de las cuales un 20% no se pudo determinar su origen o procedencia según las bases de datos utilizadas para este fin, y el 61,53 % del total de especies son nativas (600 especies).

De esas especies nativas, el 73,5 % (440) se distribuye de manera natural dentro de la zona de vida y rango altitudinal correspondientes al cantón de San Pablo de Heredia. El hábito de crecimiento con más especies fue la hierba, representando el 43 %, seguido del hábito de árbol con el 23 % (cuadro 3).

**Cuadro 3.** Cantidad de especies por origen en base de datos del DH-NMN San Pablo de Heredia.

Origen	Especies del DH-NMN
Nativa	600
Exótica	180
No determinada	195
<b>Total</b>	<b>975</b>

Fuente: DH-NMN y CFSP

### 3.3 Análisis de composición y estructura

#### 3.3.1 Densidad y Riqueza

Se encontró una abundancia de 750 árboles y 215 especies por hectárea (spp/ha), al analizar los datos del Inventario Nacional Forestal en cobertura boscosa dentro de la zona de vida bh-P, lo cual está por encima de los datos registrados por (Cascante y Estrada 2001), con un estudio realizado en Zona Protectora El Rodeo en Ciudad Colón que es otro remanente de bosque húmedo premontano cercano al valle central con 69.6 spp/ha y 509 ind/ha, esto debido a que en este estudio el diámetro mínimo de medición fue de 10 cm. mientras que en el INF fue de 2 cm.

La abundancia indica un promedio de 3 individuos por especie por hectárea (SINAC, 2015). Con respecto a los índices de diversidad, se encontró un índice de Shannon de 4,828 y un índice de Simpson de 0,9858, mostrando mayor diversidad que lo registrado por (Cascante y Estrada 2001), que indican un índice de Shannon de 3.54. Referente al IVI, la especie con mayor peso ecológico es *Lippia myriocephala* con un valor de 10,61. Además, 10 especies representan el 20,84 % del peso ecológico en el ecosistema; sin embargo, la especie más frecuente, *Ocotea veraguensis*, no se encuentra dentro de las 10 especies con mayor peso. La especie con mayor abundancia es la *Myriocarpa longipes*, mientras que la especie con mayor área basal es *Lippia myriocephala* (Cuadro 4).

Se seleccionó un listado de las 10 especies con mayor **IVI**, mismas que constituyen la composición florística de la zona de vida correspondiente al área de estudio.

**Cuadro 4.** Diez especies con mayor IVI registradas en el Inventario Forestal Nacional (2015).

<b>Especies</b>	<b>Área basal %</b>	<b>Abundancia %</b>	<b>Frecuencia %</b>	<b>IVI</b>
<i>Lippia myriocephala</i>	5,25	4,54	0,82	10,61
<i>Vochysia ferruginea</i>	5,16	3,34	0,82	9,32
<i>Myriocarpa longipes</i>	0,26	5,47	0,41	6,14
<i>Gymnanthes riparia</i>	4,07	1,07	0,82	5,95
<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	1,91	3,20	0,41	5,52
<i>Oreopanax xalapensis</i>	3,43	1,20	0,82	5,44
<i>Manilkara chicle</i>	3,91	0,67	0,82	5,39
<i>Inga oerstediana</i>	2,50	1,60	0,82	4,92
<i>Sorocea affinis</i>	0,87	3,34	0,41	4,61
<i>Myrsine coriacea</i>	1,13	3,07	0,41	4,61
Resto de las especies	71,50	72,50	93,47	237,47
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>300,00</b>

Fuente de datos: (SINAC, 2015).

### 3.3.2 Alturas

Referente a la legislación existente al año 2021 para la regulación de la infraestructura en espacio público, específicamente aceras, el reglamento técnico para la supervisión de la instalación y equipamiento de acometidas eléctricas indica que el cableado presente en espacio público no debe estar a una altura inferior a 5 metros, por lo que se tomó como la altura máxima para la vegetación en acera con cableado eléctrico. En el escenario donde no se encuentra limitante por cableado en acera, la altura y dimensiones de las especies a seleccionar se verán limitadas por el ancho de la acera, y su contexto, para este caso se seleccionó 15 metros como altura máxima.

A nivel de parques, no se encontró una limitante de altura debido a las características del espacio, por lo que se tomó como referencia a Orozco-Meza (2013), quien determina que la altura máxima recomendada de vegetación en un parque no debe ser mayor a la distancia mínima entre el punto de siembra y el final del parque o el inicio de la infraestructura pública y privada, excluyendo el mobiliario propio del parque, por lo cual se da mayor apertura a la selección de especies.

Lo cual permitió determinar especies por hectárea e individuos por hectárea cómo se puede observar en el cuadro 5.

**Cuadro 5.** Clasificación de acera con cableado, acera sin cableado y espacios públicos abiertos sin limitación

Clasificaciones	Rango de altura(m)	Especies por hectárea
Acera con cableado eléctrico	0-4.99	7
Aceras sin cableado eléctrico	5-14.99	55
Espacios públicos abiertos	15-54.99	150

### 3.4 Propuesta de composición y estructura florística basada en el ecosistema natural Bosque Húmedo Premontano para la trama verde del cantón de San Pablo de Heredia

A partir de los resultados obtenidos, se establecieron los valores de referencia, donde se determina la cantidad de individuos por unidad de área recomendada para la trama verde de las aceras y los parques presentes en el cantón. Además, se indica la cantidad de especies recomendadas, así como un valor para determinar un máximo de individuos de una misma especie. Esto con el fin de aumentar la diversidad y evitar el sobre uso de especies fomentando rodales, según los resultados, se determinó una densidad recomendada de 749 árboles por hectárea y una riqueza de 246 especies. Esta riqueza se basa en el dato promedio de 3 individuos por especie por hectárea, obtenido del inventario nacional forestal. Asimismo, se indican los valores específicos para el área que posee el cantón de San Pablo en trama verde, tanto para aceras como para parques (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Valores de referencia para trama verde de San Pablo de Heredia basada en el ecosistema Bosque Húmedo Premontano según datos del Inventario Nacional Forestal y áreas efectivas de arborización en acera y parques.

Cantidad de especies por hectárea	Cantidad de individuos por hectárea	Trama verde	Área (ha)	Individuos totales	Especies por tipo de trama
246	749	Acera	0.76	569	187
		Parques	8.07	6044	246

Cabe resaltar que ambos espacios públicos no se destinan en su totalidad para el reverdecimiento, sino que se usan también para infraestructura pública, con la cual la vegetación deberá concordar adecuadamente con el entorno. Esto genera una reducción del área efectiva que deberá evaluarse de forma individual para cada parque según su uso e infraestructura actual y proyectada a largo plazo. Además, se pone a disposición una lista de 440 especies, con el propósito de proporcionar suficientes opciones para cumplir con las 246 especies por hectárea determinadas para la zona de vida, basándose en los resultados del inventario nacional forestal.

Se presenta escenarios de cómo utilizar los indicadores propuestos en el Cuadro 6 con tres escenarios. En estos se indican las áreas efectivas en metros cuadrados en aceras, la cantidad de especies y la cantidad de individuos que se deberían plantar según el área en metros cuadrados (Cuadro 7).

Para seleccionar entre la gran cantidad de especies disponibles, se debe evaluar cada espacio de forma individual, según Gómez (2018), se debe manejar una concordancia y correlación entre las dimensiones de los árboles y el espacio disponible, evitando árboles muy grandes en espacios pequeños donde no se puedan desarrollar adecuadamente y generen conflictos. Es importante recordar que estos índices son principalmente para árboles y no se aplican a plantas no leñosas o de altura inferior a 1,30 metros.

La cantidad mínima de especies a sembrar en un área efectiva de siembra de 200 m<sup>2</sup> es de 5 (según el indicador de máximo 3 individuos de una misma especie por hectárea), y el máximo es de 15. Sería ideal que todos los individuos a plantar fueran de diferentes especies para aumentar la diversidad en el sitio (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Aplicación de Propuesta de composición y estructura florística para el cantón de San Pablo de Heredia.

Acera con cableado eléctrico	Área efectiva de siembra m <sup>2</sup>	Cantidad de especies	Total de Individuo	Máximo de individuos por especie	Especies
1	50	De 1 a 3	3	3	1. <u>Chamaedorea tepejilote</u>
2	100	De 1 a 3	7	3	1. <u>Clusia croatii</u> 2. <u>Gouania polígama</u> 3. <u>Hamelia patens</u>
3	200	De 5 a 15	15	3	1. <u>Picramnia antidesma</u> 2. <u>Senna pallida</u> 3. <u>Solanum americanum</u> 4. <u>Malvaviscus arboreus</u> 5. <u>Malpighia glabra</u>

Se pudo determinar que existe una necesidad de herramientas en manos de entidades encargadas de reverdecimiento que permitan mejorar la toma de decisión al momento de seleccionar especies para la trama verde. A partir del censo de la foresta urbana de San Pablo, se determinó que el 73 % de los individuos encontrados son de especies exóticas. Una de las principales razones que da origen a esta situación es la falta de herramientas o bases de datos de riqueza recomendada, así como la escasez de especies nativas dentro del único vivero presente en el cantón (Municipalidad

de San Pablo de Heredia, 2019), sumado a la ausencia de legislación que dicte el marco para los viveros de producción de árboles urbanos (Vargas G, Ugalde J, Avellána J, Villegas J. (2020).

Según los registros de colecta del DH-NMN, se logró encontrar una alta diversidad de especies para la zona de San Pablo de Heredia, donde se pueden observar diferentes hábitos de crecimiento. Al poder comparar estos registros con el Censo Forestal de San Pablo, se observa una diferencia de 774 especies menos para la base de datos del Censo Forestal de San Pablo, lo que permite ver que la trama verde no está logrando emular la diversidad florística previa a la intervención urbana (Herbario Nacional del Departamento de Historia Natural del Museo Nacional de Costa Rica, 2019 y Municipalidad de San Pablo de Heredia, 2019).

El generar datos de referencia que permitan generar estándares de biodiversidad y diversidad en nuestras ciudades como menciona Herrera (2008), que sostiene la importancia de integrar conceptos y valores de biodiversidad en los entornos urbanos, recalca la importancia de conservar la biodiversidad urbana, donde indica la importancia de la diversidad de especies y así mismo al momento de hacer la distribución de forma equilibrada de los individuos.

La Organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura (2020) referente a los servicios ecosistémicos están estrechamente relacionados a la diversidad de los ecosistemas y son vitales para la humanidad, así mismo dentro del ecosistema, es importante recordar otros hábitos de crecimiento, teniendo en cuenta que solo una de las tres bases de datos del estudio tiene en cuenta hábitos no leñosos. Además, según las diferentes fuentes consultadas, se pudo determinar que existe una tendencia a enfocar los temas de reverdecimiento en especies arbóreas, a lo que llamamos arbolcentrismo debido a que son las más descritas y utilizadas en temas de caracterización y descripción de ecosistemas (Larrotta 2018).

Es importante entender que cada espacio público dentro del cantón de San Pablo debe tratarse de forma independiente, evaluando el área efectiva que se desee enverdecer y, basándose en la distribución por altura máxima que puede alcanzar la vegetación, determinar la abundancia y cantidad de especies recomendadas como indica Gómez (2018), para aprovechar todos los espacios y obtener el mayor valor ecosistémico y beneficio a la comunidad.

Con esto, se puede enfocar en qué características deben tener las especies para poder desarrollarse adecuadamente y se debe tener en cuenta que no solo se deben plantar especies leñosas. La base de datos del DH-NMN nos permite ver una gran diversidad de especies nativas del rango altitudinal y zona de vida que pueden aportar al reverdecimiento y al aumento de la biodiversidad. Esta base de datos está pensada para los tomadores de decisión dentro del gobierno local y se debe apoyar en los manuales de plantas para conocer en detalle las características de cada especie.

Es importante recalcar que la base de datos del Departamento de Historia Natural del Museo Nacional de Costa Rica (DH-NMN) es la más adecuada para la selección de especies y se encuentra disponible de forma digital, tanto en sus páginas oficiales como en una base de datos en línea que es producto del presente trabajo. La cual está a disposición de quienes requieran la información o consultar el detalle de las especies por medio de los correos de los autores de este artículo. Esta base de datos está basada en la del DH-NMN, la cual se trabajó para dejar únicamente las especies que se distribuyen de forma natural dentro del cantón de San Pablo de Heredia.

#### **4. Conclusiones y recomendaciones**

Mediante la determinación de composición y estructura de los bosques naturales para la zona de vida de un sitio previo al desarrollo urbano es posible intentar generar la composición y estructura florística que debe aplicarse en el sitio para obtener dichos servicios ecosistémicos.

En cuanto a las especies a utilizar, se considera que la base de datos de los registros de colectas del DH-NMN es la fuente que se debe utilizar como referencia, ya que se enfoca en las zonas de vida y rangos altitudinales correspondientes al cantón de San Pablo de Heredia. Dado que hay una alta diversidad de escenarios en los entornos urbanos, se requiere una amplia gama de opciones para encontrar la especie más adecuada según las características del sitio

La propuesta de composición y estructura para San Pablo comprende una lista de selección con un total de 441 especies nativas correspondientes al rango altitudinal y zona de vida del cantón. Se propone sembrar un total de 6,613 individuos para aceras y parques, con el fin de tener opciones suficientes y lograr la riqueza determinada de 186 especies por hectárea.

Según DH-NMN la zona de vida Bosque Húmedo tiene 198 especies más que las encontradas en el censo de foresta urbana de espacio público en San Pablo, adicional en caso de comparar solo las especies nativas, la diferencia asciende a 305, lo cual permite recalcar que la vegetación en los espacios públicos del área de estudio no está respondiendo o logrando emular la riqueza del ecosistema previo a la intervención humana

El papel de las ciudades es importante en las dinámicas ecológicas. En el caso de San Pablo de Heredia, la trama verde puede aportar indiscutiblemente a la riqueza, diversidad y conectividad del paisaje urbano. Este proyecto es un insumo importante y acercamiento a las distintas herramientas necesarias para la toma de decisiones.

La falta de información sobre las especies no leñosas del cantón de San Pablo representa un obstáculo para generar indicadores adecuados y construir una propuesta de composición y estructura florística más acorde al ecosistema preexistente.

Se recomienda continuar con investigaciones que incluyan datos de especies no leñosas para la creación de herramientas prácticas para la toma de decisiones respecto a la trama verde urbana.

Se recomienda que la municipalidad pueda enfocar un desarrollo direccionado a movilidad sostenible, redistribuyendo el espacio para el peatón permitiendo espacios más amplios para su desplazamiento y más áreas para arbolado con condiciones adecuadas.

## 5 Referencias

- Aguilar, L. F. G., Benavides, J. G. C., Valenzuela, X. G. V., Molina, E. M. V., & Guerrero, M. J. C. (2023). Diagnóstico del arbolado Urbano en la Ciudad de Ibarra, como base para una gestión de arbolado más humano. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2), 5613-5632. DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i2.5743](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5743)
- Benedetti, G. M., Duval, V. S., & Campo, A. M. (2016). Propuesta para el análisis de cobertura del arbolado urbano: Caso de estudio: Pigüé, provincia de Buenos Aires.
- Campo, A., y Duval, V. (2014). Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calel (Argentina). *Anales de Geografía*, 25-42. [http://dx.doi.org/10.5209/rev\\_AGUC.2014.v34.n2.47071](http://dx.doi.org/10.5209/rev_AGUC.2014.v34.n2.47071).
- Canizales Velázquez, P. A., Alanís Rodríguez, E., Holguín Estrada, V. A., García García, S., & Chávez Costa, A. C. (2020). Caracterización del arbolado urbano de la ciudad de Montemorelos, Nuevo León. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(62), 111-135.
- Cascante, A.; Estrada, A. (2001). Composición florística y estructura de un bosque húmedo premontano en el Valle Central de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. Disponible en [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S003477442001000100020#R1](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S003477442001000100020#R1).
- Costa Rica, ARESEP (Autoridad reguladora de los servicios públicos). (2021). Diario oficial la Gaceta N°2017. “Reglamento técnico supervisión de la instalación y equipamiento de acometidas eléctricas” (AR-RT-SINAC).
- El proyecto jamovi (2021). jamovi (Versión 1.6) [Software informático]. Obtenido de <https://www.jamovi.org>.
- Fuentes, E. y Torres ... (2016). Estructura y composición florística del arbolado urbano e índice verde urbano en el cantón Quevedo. Quevedo, Los Ríos, Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Gómez, J.R. (2018). El Árbol urbano. Gestión municipal del arbolado en la ciudad. España. Asociación española de arboricultura.
- Hammel, B.E., M.H. Grayum, C. Herrera y N. Zamora (eds.). (2003a). Manual de plantas de Costa Rica. Monocotiledóneas (Agavaceae-Musaceae). Vol. II, III, IV, V, VI, VII, VIII Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard. 92: 1-694.
- Hernández, G., Maldonado, G., Montero, W. (2013). *Implementación de Plan de Reforestación en Parque la Libertad por Áreas Impactadas por Obras de Construcción de Grupo OROSI*.
- Herrera, P. (2008). Infraestructuras de soporte de la biodiversidad: planificando el ecosistema urbano. *Ciudades*, (11), 167-188. <https://doi.org/10.24197/ciudades.11.2008.167-188>.

Hortipoint. (2023). Promover la salud y el bienestar con vegetación urbana: con la regla general 3-30-300. Disponible en: <https://digitaal.hortipoint.nl/vergroenen-van-de-stad/de-3-30-300-vuistregel/>

Jiménez, Q. (2013). Arbolado urbano: beneficios, desaciertos y realidad en la Gran Área Metropolitana. *Ambientico*, 232-233, 4-12.

Kapeller, M. (2004). *Diccionario de la biodiversidad*. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio) y Cooperación Española (AECI).

Lamprecht, H., 1990. *Silvicultura de Bosques Tropicales*. (GTZ) GMBH.

Larrotta Pedraza, G. A. (2018). *Análisis de biodiversidad de los árboles urbanos del municipio de Ciénaga para su articulación con el plan de silvicultura urbana* (Licenciatura). Universidad del Magdalena.

Louman, B., Quirós, D. y Nilsson, M. (2001). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. CATIE.

Matteucci, D. y Colama, A. (1982). *Metodología para el Estudio de la Vegetación*.Eva V.

Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2019). *Guía de Arborización Urbana para el Área Metropolitana de Asunción*. Recuperado en 15 de mayo de 2021. <http://www.mades.gov.py/wp-content/uploads/2019/10/Gu%C3%ADa-de-Arborizaci%C3%B3n-Versi%C3%B3n-digital-1.pdf>

MADES/PNUD/FMAM. (2019). *Guía de Arborización Urbana para el Área Metropolitana de Asunción*. Proyecto “Asunción Ciudad Verde de las Américas – Vías a la Sustentabilidad”. Asunción, Paraguay. 114 p.

Municipalidad de San Pablo de Heredia. (2019). *Censo de foresta urbana (Inventario de Análisis de la capacidad de Arborización Urbana)* San Pablo de Heredia.

Nilsson, K., Randrup, T. y Tvedt, T. (2-5 de diciembre 1996). *Aspectos Tecnológicos del Enverdecimiento Urbano*. Memoria del Seminario Internacional Áreas Verdes Urbanas. MX. Universidad Autónoma de Chapingo. Texococo. México.

Nowak, J. Dwyer, F. Childs. (2-5 de diciembre 1996). *Los Beneficios y Costos del Enverdecimiento Urbano*. Memoria del Seminario Internacional Áreas Verdes Urbanas. MX. Universidad Autónoma de Chapingo. Texococo. México.

Organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura. (2020). *Servicios ecosistémicos y biodiversidad*. Recuperado en 15 de mayo de 2021, de <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>

Orozco-Meza, A. (2013). *Enlace del paisaje natural de la Ciudad Litoral de Golfo de Golfito entre el bosque, la ciudad, el manglar la bahía de Golfito y el Golfo Dulce*.

Ortega Rosas, C. I., Martínez Salido, J., Sánchez Duarte, N. E., & Morales Romero, D. (2022). Cobertura y composición arbórea en las áreas verdes de Hermosillo, Sonora: Aportaciones al urbanismo sustentable. *Región y sociedad*, 34.

Poma, K. (2013). Composición florística, estructura y endemismo de un bosque siempreverde de tierras bajas de la Amazonía, en el cantón Taisha, Morona Santiago (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Loja

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2015). Inventario Forestal Nacional de Costa Rica 2012-2015.

Sistema Nacional de Áreas de Protección, Municipalidad de San José y Compañía Nacional de Fuerza y Luz. (2015). *Protocolo de reforestación para la rehabilitación y mantenimiento*

Vargas G, Ugalde J, Avellána J, Villegas J. (2020). Viveros forestales en la silvicultura urbana de Costa Rica. . ISSN 1409-214X. Julio - Setiembre 2020. *Ambientico* 275. Artículo 3 |Pp. 18-23|