

**Propuesta de manejo silvicultural para el arbolado urbano  
del municipio de Aguazul - Casanare, mediante la  
aplicación de tecnologías SIG**

**Jenyfer Carolina Gómez León**

**Tatiana Hernández Olaya**

Informe final de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Territorios Inteligentes y Sostenibles

Grupo de Investigación y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Manizales, 2024

## Resumen

Se conoce como arbolado urbano al conjunto de individuos vegetales bien sean árboles, arbustos, palmas o helechos arborícolas que se encuentran ubicados dentro del perímetro urbano. Su presencia en la ciudad reduce la contaminación, mejora la calidad del aire y del agua, realza la belleza escénica e impacta positivamente en la salud física y mental de los habitantes. Sin embargo, el severo, inflexible e implacable ambiente citadino, repercute seriamente en el crecimiento y desarrollo de estos, generándoles afectaciones estructurales que con el paso del tiempo se convierten en factores de riesgo e impactan negativamente el entorno circundante.

Daños en andenes, separadores, interferencia con las redes eléctricas y caída de ramas, son algunos de los daños más frecuentes ocasionados por el arbolado urbano y que son comunes en el municipio de Aguazul, Casanare. Ante esta situación, este proyecto busca desarrollar una herramienta que mediante tecnologías SIG permita conocer el estado de los árboles del municipio y proponer estrategias de manejo acordes a la especie y nivel de riesgo que representen.

**Palabras clave: arbolado urbano, silvicultura, espacio público y SIG**

## **Abstract**

Urban forestry refers to the collection of vegetal individuals, including trees, shrubs, palms, and arboreal ferns, located within an urban perimeter. The presence of urban forestry in a city reduces pollution, enhances air and water quality, improves scenic beauty, and positively impacts the physical and mental health of its inhabitants. However, the harsh, unyielding, and relentless urban environment significantly affects the growth and development of these vegetal individuals, causing structural damage that can evolve into risk factors, negatively impacting the surrounding environment.

Common issues associated with urban forestry include damage to sidewalks, medians, interference with electrical networks, and falling branches, all of which are prevalent in the municipality of Aguazul, Casanare. To address this situation, this project aims to develop a tool using Geographic Information System (GIS) technologies to assess the condition of the town's trees and propose management strategies tailored to the species and risk level they represent.

# Contenido

## Contenido

<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>9</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA.....	9
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	10
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	11
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>3. ANTECEDENTES.....</b>	<b>15</b>
<b>4. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL .....</b>	<b>21</b>
<b>5. REFERENTE TEÓRICO.....</b>	<b>27</b>
ARBOLADO URBANO .....	27
<i>Definición e importancia del arbolado urbano (AU)</i> .....	27
<i>Funciones y servicios ecosistémicos (SE)</i> .....	27
MANEJO SILVICULTURAL URBANO .....	30
<i>Los SIG como herramienta para el manejo silvicultural</i> .....	31
<b>6. METODOLOGÍA.....</b>	<b>32</b>
6.1 ENFOQUE METODOLÓGICO .....	32
6.2 TIPO DE ESTUDIO .....	32
6.3 PROCEDIMIENTO.....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
6.3.1 <i>Descripción del área de estudio</i> .....	32
6.3.2 <i>Inventario del arbolado urbano</i> .....	33
6.3.3 <i>Evaluación el nivel de riesgo y servicios ecosistémicos</i> .....	40
6.3.4 <i>Diseño de herramienta SIG</i> .....	43
6.3.5 <i>Protocolo de manejo silvicultural</i> .....	43
<b>7. RESULTADOS .....</b>	<b>44</b>
7.1.1 <i>Inventario del arbolado urbano</i> .....	44
<i>Revisión de información secundaria</i> .....	44
<i>Composición de especies</i> .....	47
7.1.2 <i>Nivel de riesgo</i> .....	51
<i>Amenaza</i> .....	51
<i>Vulnerabilidad</i> .....	54
<i>Riesgo</i> .....	55
<i>Servicios ecosistémicos</i> .....	57
7.1.3 <i>Diseño de herramienta SIG</i> .....	59
7.1.4 <i>Propuesta de manejo silvicultural</i> .....	61

---

<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>9. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>64</b>
<b>10. REFERENCIAS .....</b>	<b>69</b>

## Lista de figuras

Figura 1. Servicios ecosistémicos. Fuente: (WWF, 2018).....	28
Figura 2. Beneficios de los árboles urbano. (FAO, 2016) .....	29
Figura 3: Mapa del perímetro urbano del municipio de Aguazul, Casanare .....	33
Figura 4: Encabezado del formulario de campo ArcGIS Field Maps.....	35
Figura 5: Vista del apartado "Información general" del formulario de campo ArcGIS Field Maps .....	36
Figura 6: Vista del apartado "Variables dasométricas" del formulario de campo ArcGIS Field Maps.....	37
Figura 7: Vista del apartado "Tronco" del formulario de campo ArcGIS Field Maps .....	37
Figura 8: Ejemplo de expresión utilizada en ArcGIS Field Maps para diligenciar campos calculados.....	38
Figura 9: Vista del apartado "Ramas" del formulario de campo ArcGIS Field Maps.....	38
Figura 10: Vista del apartado "Raíces" del formulario de campo ArcGIS Field Maps .....	39
Figura 11: Vista del apartado "Vulnerabilidad" del formulario de campo ArcGIS Field Maps...	39
Figura 12. Modelo de base de datos del catastro arbóreo del casco urbano del municipio de Aguazul, Casanare 2015 .....	45
Figura 13: Familias más representativas del arbolado urbano.....	47
Figura 14: Géneros más representativas del arbolado .....	48
Figura 15: Especies más representativas del arbolado.....	48
Figura 16: Talla.....	52
Figura 17: Susceptibilidad al volcamiento.....	52
Figura 18: Inclinación .....	53
Figura 19: Amenaza.....	54
Figura 20: Vulnerabilidad .....	55
Figura 21: Categorías de riesgo .....	55
Figura 22: Emplazamiento de los árboles categorizados como de alto riesgo .....	57
Figura 23: Distribución de individuos por lugar de emplazamiento.....	58
Figura 24: Interfaz herramienta SIG Arbolado Urbano.....	60

## Lista de tablas

Tabla 1. Factores de amenaza y vulnerabilidad para evaluación de riesgo. ....	41
Tabla 2: Jornadas de medición.....	45
Tabla 3: Estructura horizontal del arbolado urbano.....	50
Tabla 4: Salud de los individuos categorizados en alto riesgo .....	56
Tabla 5: Servicios ecosistémicos por emplazamiento .....	58

## Lista de abreviaturas

### Abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
--------------------	----------------

---

DAP	Diámetro a la altura del pecho
-----	--------------------------------

IVI	Índice de valor de importancia
-----	--------------------------------

AA	Abundancia absoluta
----	---------------------

AR	Abundancia relativa
----	---------------------

FA	Frecuencia absoluta
----	---------------------

FR	Frecuencia relativa
----	---------------------

DA	Dominancia absoluta
----	---------------------

DR	Dominancia relativa
----	---------------------

SE	Servicio ecosistémico
----	-----------------------

AU	Arbolado urbano
----	-----------------

# 1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación

## 1.1 Descripción del área problemática

Los árboles dentro de los centros urbanos cumplen diversas funciones, entre las cuales se destacan limpieza del aire, regulación de la sensación térmica, generación de focos de sombra, hábitat para pequeñas especies de fauna, corredores de conectividad para la biodiversidad de las ciudades y las zonas rurales y mejoras en la salud física y mental de la población (Millennium Ecosystem Assessment (Program), 2005). Estudios recientes han demostrado que cada árbol adulto puede absorber hasta 150 kg de gases de efecto invernadero por año (ONU-Habitat, 2019), reducir entre 1 y 12°C de temperatura de las construcciones circundantes (Schwaab et al., 2021) y disminuir la presión sanguínea, el colesterol en sangre y el estrés de los residentes (Martínez Soto et al., 2016). A pesar de los innumerables beneficios que ofrecen, a los seres humanos y al ecosistema, el desarrollo de estos en las ciudades no es sencillo y trae consigo una serie de conflictos.

Los árboles son seres vivos que requieren de un entorno adecuado para desarrollarse, cada especie demanda dosis adecuadas de luz, nutrientes, agua y condiciones ambientales particulares. Sin embargo, el entorno urbano carece, en muchas ocasiones de estas cualidades. Físicamente la ciudad se caracteriza por ser inflexible, presentar bajo nivel freático, suelo compactado, espacio limitado, polución elevada, entre otros (Tovar Corzo, 2006).. Bajo estas circunstancias los árboles suelen padecer de estrés hídrico, incremento de afecciones sanitarias y otros problemas de

crecimiento, que sumados al vandalismo de los ciudadanos y la deficiente o en muchos casos inexistente gestión silvicultural desatan una serie de situaciones que ponen en riesgo la integridad de los habitantes y la de los bienes muebles e inmuebles de la ciudad además de amenazar la supervivencia de las comunidades arbóreas.

Dentro de las situaciones que pueden suponer un riesgo por parte del AU se incluyen caída de ramas, volcamiento de individuos, aumento de la inseguridad e interferencia con redes eléctricas y de otros servicios. Estas circunstancias se propician por múltiples factores entre las que se pueden resaltar defectos de crecimiento, pudriciones, problemas fitosanitarios, ausencia de podas de formación y mantenimiento, desconocimiento de las necesidades fisiológicas de la especie, establecimiento inadecuado, entre otras (Benito & Palermo Arce, 2021).

## **1.2 Formulación del problema**

El arbolado es un elemento integrador del paisaje natural urbano, que provee múltiples bienes y servicios. Sin embargo, la ausencia de planificación durante su establecimiento conduce a serios problemas y conflictos que son evidentes en varias ciudades de Colombia y América Latina (Becerra Granada et al., 2019). A nivel nacional, la mayoría de los municipios presentan problemas relacionados con el arbolado urbano, entre ellos daños a la infraestructura, riesgo de caída, conflictos con el crecimiento urbano, entre otros. Si bien, existe normativa ambiental que delega a las corporaciones autónomas y a las entidades gubernamentales la potestad del cuidado de los recursos naturales, tanto urbanos como rurales, aún no existe legislación específica que establezca las directrices necesarias para la implementación y gestión forestal de esta cobertura

urbana (Pinzón Saavedra & Gómez Porras, 2023). A pesar de esto, las partes involucradas (corporaciones, entes de gobierno, comunidad) hacen lo posible para procurar el bienestar de la vegetación urbana, sin embargo, es notoria la desarticulación y falta de planeación de estrategias entre ellos, ya que, al no saber lidiar con los diversos problemas causados por el arbolado, terminan ejerciendo medidas equivocadas como establecimiento de especies introducidas en lugares inadecuados, talas innecesarias y podas radicales que generan estrés y enfermedades a los árboles (Molina Prieto & Acosta Hernández, 2018).

Situación similar se presenta en el municipio de Aguazul, Casanare, donde es común encontrar daños en andenes, vías y viviendas, árboles enfermos, podas drásticas y descoordinadas, árboles que irrumpen las redes de energía, entre otras situaciones. Ante esta problemática este proyecto propone desarrollar una herramienta que, basado en tecnologías de información geográfica, permita el manejo del arbolado urbano del municipio de Aguazul, Casanare, para que tanto las autoridades competentes como la comunidad puedan articularse y promover el ordenamiento participativo de la cobertura arbórea de la ciudad, mientras que garantizan la salud y correcta administración de los recursos naturales del municipio.

### **1.3 Justificación**

El arbolado es uno de los elementos estructurales más importantes del paisaje urbano. Su presencia mejora la calidad del aire y del agua, reduce la contaminación, embellece el entorno e impacta positivamente la salud física y mental de los habitantes (Moraes Amaral et al., 2021a). Sin embargo, su manejo puede resultar complejo, ya que se trata de un sinnúmero de individuos de

diferentes especies, que demandan estrategias de mantenimiento particulares y cuya inatención acarrea consecuencias negativas para los individuos vegetales y para el medio social y físico en el que se desarrollan (Becerra Granada et al., 2019).

En todas las grandes y pequeñas ciudades, a nivel nacional, es común la integración de individuos arbóreos en las principales calles y zonas de esparcimiento, sin embargo, en la mayoría de ellos existe una notoria desatención de los mismos. Este panorama no es ajeno al departamento de Casanare, el cual cuenta con 19 municipios con amplia cobertura forestal urbana y de los que no se encontró evidencia en materia de formulación o implementación de planes de manejo silvicultural o manuales de arboricultura urbana ni tampoco la inclusión de este componente dentro de sus planes de desarrollo o planes de ordenamiento territorial.

Por esto desarrollar esta herramienta de gestión es una necesidad imperativa que permitirá conocer los beneficios y riesgos de los árboles del municipio y así orientar acciones concretas para mejorar la salud, bienestar y sostenibilidad de la comunidad forestal, reducir los daños que estos puedan causar a la infraestructura física del municipio y optimizar los recursos destinados para su mantenimiento y adecuación. Además, que obedece a disposiciones administrativas tales como la ordenanza 019 emitida por la asamblea departamental de Casanare en el año 2019 (Ordenanza 019, 2019) y atiende a llamados y tratados internacionales tales como los ODS y la nueva agenda urbana, los cuales priorizan dentro del ordenamiento territorial y la planificación urbana la administración y conservación de los activos naturales con el objetivo de mejorar la diversidad biológica, aumentar la provisión de servicios ecosistémicos y garantizar la sostenibilidad ambiental y social (ONU Habitat, 2020). Esto sin contar que el municipio de Aguazul sería el

Propuesta de manejo silvicultural para el arbolado urbano del municipio de Aguazul - Casanare, mediante la aplicación de tecnologías SIG

---

primero del departamento en implementar estrategias administrativas para la gestión de sus recursos naturales urbanos y lo convertiría en un referente y modelo a seguir para los demás municipios.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo general

Desarrollar una herramienta SIG, que permita la gestión del arbolado urbano del municipio de Aguazul, Casanare, con el propósito de disminuir los daños a la infraestructura de la ciudad y a su vez incrementar la provisión de servicios ecosistémicos.

### 2.2 Objetivos específicos

- Realizar un inventario forestal de los árboles localizados en los espacios públicos del municipio, para recopilar información de sus características físicas y condiciones de ubicación.
- Evaluar el nivel de riesgo de los individuos y cuantificar los servicios ecosistémicos que prestan, para establecer una línea base que oriente las acciones de manejo.
- Diseñar una herramienta SIG para analizar el estado del arbolado urbano y tomar decisiones que mejoren las condiciones de los individuos y el ecosistema en general.
- Elaborar una propuesta de manejo silvicultural que establezca el protocolo a seguir para aquellos individuos que se encuentren en alto riesgo.

### 3. Antecedentes

Históricamente los árboles han tenido una relación estrecha con el hombre y su desarrollo. Durante la prehistoria, los primeros agricultores seleccionaban sus individuos preferidos basados en la calidad de sus frutos o madera. Al llegar la época medieval, el papel de los árboles se redujo, fueron excluidos de las grandes zonas amuralladas y remontados solamente a huertos cerrados como monasterios y jardines privados. Esta tendencia se mantuvo hasta la llegada del renacimiento, donde la conquista de tierras desconocidas dio pie al establecimiento de nuevas rutas comerciales que incentivaron la expansión global de la vegetación y favoreció la recolección e introducción de especies exóticas a las grandes ciudades. Con el paso del tiempo, llegó la industrialización y las guerras y esto trajo problemáticas ambientales que incrementaron la demanda de bienes y servicios vinculados a la arboricultura. Bajo este escenario se creó la necesidad de especializar profesionales en arboricultura que manejaran la situación y sortearan los desastrosos escenarios que se avecinaban (Benito & Palermo Arce, 2021).

En el campo de la silvicultura urbana países como Estados Unidos, Canadá, Australia y algunos del continente europeo llevan el liderazgo. Sus investigaciones y estudios buscan principalmente desarrollar estrategias para la gestión y gobernanza de los bosques urbanos, centrando su atención en la selección de especies, sitios de plantación, prestación de servicios ecosistémicos, percepción de las partes involucradas, manejo de presupuestos y recursos (Ordóñez et al., 2019).

En esta búsqueda los SIG han demostrado ser herramientas útiles que facilitan el manejo del arbolado y favorecen su monitoreo y evaluación, ejemplo de ello es el estudio desarrollado por Hurley & Emery, 2018, el cual buscaba valorar los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento en bosques urbanos de la ciudad de Nueva York con el objetivo de reconocer las especies arbóreas con mayor potencial de prestación y su distribución a lo largo de la ciudad, apoyándose en tecnologías de información geográfica. O el llevado a cabo por Kolbina et al., 2020a, el cual propone el uso de tecnologías de telecomunicación para la gestión y mantenimiento de los bosques urbanos de St. Petersburgo utilizando sistemas de información geográfica.

Según lo señalado por Rodríguez Bormioli et al., (2017) en su artículo "Generación de cartografía temática del arbolado urbano mediante el uso de SIG", las entidades responsables de la gestión del espacio público, especialmente en lo relacionado con el arbolado urbano, tienen la responsabilidad de disponer de información sistemática y actualizada sobre este recurso natural. Esta información es crucial para la formulación de actividades administrativas y estrategias que contribuyan a mantener y mejorar el arbolado urbano, promoviendo así diversos aspectos del bienestar ciudadano y optimizando el uso de los recursos económicos, los cuales suelen ser limitados.

El uso de herramientas SIG, que van desde el censo básico de árboles mediante GPS hasta la creación de un geovisor que permita visualizar beneficios, riesgos y ubicaciones, facilita la planificación y generación de cartografía precisa y funcional para la gestión del arbolado urbano en diferentes contextos. Además, una adecuada capacitación en el uso de estas herramientas, tanto por parte de los responsables municipales como del público en general, puede potenciar la eficacia

Propuesta de manejo silvicultural para el arbolado urbano del municipio de Aguazul - Casanare, mediante la aplicación de tecnologías SIG

---

en la gestión, permitiendo una mejor respuesta en situaciones de reporte de emergencias y fomentando incluso el turismo urbano en aquellos municipios o departamentos que adopten estas tecnologías SIG de manera activa.

Dávila Martínez et al., (2012) destaca que el diagnóstico del arbolado urbano en general, la evaluación específica del riesgo y su posterior georreferenciación a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) son elementos fundamentales para la gestión efectiva de este recurso. Los SIG posibilitan la captura, recuperación y análisis de datos de manera geográficamente referenciada, lo que facilita su disponibilidad inmediata y su uso ágil en la toma de decisiones.

Una ventaja significativa del uso de los SIG es la capacidad de generar análisis espaciales en tiempo real. Esta funcionalidad permite el desarrollo de planes de monitoreo para el arbolado urbano, en colaboración con las entidades municipales y las empresas dedicadas a la gestión de servicios ambientales a nivel local o urbano. Dichos planes podrían fomentar proyectos de recuperación, mantenimiento y cuidado del arbolado urbano, promoviendo acciones que aborden el cambio climático y contribuyan a prevenir desastres o situaciones de riesgo para los habitantes de la zona.

Martínez Trinidad & Islas Rodríguez (2008) resaltan que las herramientas SIG están experimentando un rápido avance y son completamente adaptables a los cambios en el mundo, en la dinámica gubernamental y en la gestión territorial. Esto se debe a su capacidad para espacializar y almacenar información que puede ser analizada y reinterpretada para explorar diversos

Propuesta de manejo silvicultural para el arbolado urbano del municipio de Aguazul - Casanare, mediante la aplicación de tecnologías SIG

escenarios. Subrayan que el uso de los SIG en los bosques urbanos ofrece múltiples aplicaciones, lo que hace que sea tanto realista como necesario adoptar esta tecnología a nivel nacional en cualquier país dispuesto a invertir en la captura de carbono, el paisajismo y otros tipos de estudios que se beneficien de la información geoespacial.

Además, señalan que la información recopilada, almacenada, organizada y analizada mediante herramientas SIG proporciona una precisión aceptable de la situación actual y establece un registro que permite trazar líneas de tiempo para comprender los cambios derivados del crecimiento demográfico, la introducción de nuevas industrias y el ordenamiento territorial. Las imágenes satelitales y los SIG también se han utilizado en el estudio de los cambios en el uso del suelo y el crecimiento urbano, lo que ha facilitado la toma de decisiones en áreas como la eficiencia energética, la recreación, la reducción de contaminantes atmosféricos y la mitigación de las islas de calor.

Para el caso de América Latina los avances en este campo se han desarrollado en los últimos años. Los países que conforman esta zona se caracterizan por tener una amplia diversidad de especies, sin embargo, en la mayoría de los casos, la ausencia de planificación entorno a la selección de especies y distribución de estas se hace evidente en las ciudades (Molina Prieto & Acosta Hernández, 2018). Algunos países como Chile y Brasil ya han realizado adelantos científicos en el tema, tal es el caso de la comuna Providencia de Chile, la cual fue objeto de un estudio que analizó la vulnerabilidad de su arbolado urbano con el objetivo de orientar propuestas de manejo efectivas (Carbonnel et al., 2017) o la investigación realizada por Moraes Amaral et al.,

2021b, que recopiló información actualizada sobre las tecnologías más relevantes para el manejo de los bosques urbanos.

En este contexto, Colombia no se queda atrás, en los últimos años el tema del arbolado urbano ha tomado fuerza y cada vez son más las ciudades que buscan ejecutar acciones sobre sus áreas verdes urbanas, no solo para crear ciudades estéticamente más atractivas, sino también, por sumar vida a los entornos y ecologizar las ciudades. Hasta el año 2013, en nuestro país solo dos ciudades habían realizado adelantos en materia de arbolado urbano, siendo estas Bogotá y Medellín (Molina Prieto & Acosta Hernández, 2018), sin embargo, a la fecha, se han sumado nuevos estudios que han permitido la consolidación de guías de manejo tales como la “Guía para el manejo del arbolado urbano del Valle de Aburrá” (Moreno Hurtado & Hoyos Estrada, 2015) o el “Plan de manejo de silvicultura urbana para la ciudad de Manizales” (Jardín Botánico de la Universidad de Caldas, 2014), entre otros, así como la consolidación de geovisores del arbolado urbano como es el caso del SAU (Sistema de Arbolado Urbano de Medellín), SIGAU (Sistema de Información para la Gestión del Arbolado Urbano – Jardín Botánico José Celestino Mutis), Censo arbóreo de Santiago de Cali, Censo del arbolado urbano de Ibagué e Inventario de árboles de Pereira, entre otros.

Estos avances se han logrado a pesar de que Colombia es el único país de Latinoamérica que no cuenta con una normatividad propia para el arbolado urbano (Molina Prieto & Acosta Hernández, 2018), este tema se encuentra regulado indirectamente en un sin número de leyes y decretos, entre los cuales sobresalen la constitución política de 1991, el Código Nacional de los Recursos Naturales (Decreto Ley 2811 de 1974), la Ley 99 de 1993 y el Decreto 1791 de 1996, estas dictan disposiciones de lo que, en teoría, debería ocurrir con el manejo de los recursos

Propuesta de manejo silvicultural para el arbolado urbano del municipio de Aguazul - Casanare, mediante la aplicación de tecnologías SIG

---

naturales dentro de los centros urbanos y delegan obligaciones directas a las corporaciones autónomas con jurisdicción en la zona y a los entes de administración pública (alcaldías municipales) para administrarlos (Weisz Restrepo, 2020).

En el año 2021 se presentó ante el Congreso de la república el proyecto de ley 163, el cual busca dictar las normas para la protección y fomento del arbolado urbano, este incluye todas las consideraciones pertinentes y obliga a las autoridades competentes a incluir el arbolado urbano dentro de sus instrumentos de planificación con un plazo no mayor a tres años después de la entrada en rigor del mismo. Sin embargo, este proyecto aún no se encuentra aprobado.

## 4. Referente normativo y legal

En consideración al referente normativo, Colombia no cuenta actualmente con un marco legal que regule propiamente la administración del arbolado urbano, sin embargo, las leyes y decretos expuestos a continuación son herramientas que vinculan las generalidades del manejo de los recursos naturales renovables bajo los cuales se amparan los árboles urbanos.

### **Constitución política de 1991**

Artículo 79: Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano y la ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo (Constitución Política de Colombia Edición, 1991).

Artículo 80: El estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución (Constitución Política de Colombia, 1991).

### **Decreto 2811 de 1974, Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente**

Dicta medidas para la protección de los recursos naturales renovables y el medio ambiente (Decreto 2811, Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, 1974).

Propuesta de manejo silvicultural para el arbolado urbano del municipio de Aguazul - Casanare, mediante la aplicación de tecnologías SIG

Artículo 1: El ambiente es patrimonio común y tanto el estado como los particulares deben participar en su preservación y manejo.

Artículo 2: El ambiente hace parte del patrimonio común de la humanidad y es necesario para la supervivencia y el desarrollo económico y social de los pueblos, por esta razón este código busca: Lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación de los recursos naturales renovables, según criterios de equidad que aseguren el desarrollo armónico del hombre y de dichos recursos, la disponibilidad permanente de estos y la máxima participación social, para beneficio de la salud y el bienestar de los presentes y futuros habitantes del territorio nacional. Además de regular la conducta humana, individual o colectiva y la actividad de la administración pública, respecto del ambiente y de los recursos naturales renovables y las relaciones que surgen del aprovechamiento y conservación de tales recursos y de ambiente.

Artículo 3: el presente código regula, el manejo de recursos naturales renovables, tales como, la flora y los recursos del paisaje, entre otros.

Artículo 7: toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente sano.

### **Ley 99 de 1993**

Artículo 1:

2. La biodiversidad del país, por ser patrimonio nacional y de interés de la humanidad, deberá ser protegida prioritariamente y aprovechada en forma sostenible.

3. Las políticas de población tendrán en cuenta el derecho de los seres humanos a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza.

Propuesta de manejo silvicultural para el arbolado urbano del municipio de Aguazul - Casanare, mediante la aplicación de tecnologías SIG

7. El Estado fomentará la incorporación de los costos ambientales y el uso de instrumentos económicos para la prevención, corrección y restauración del deterioro ambiental y para la conservación de los recursos naturales renovables.

8. El paisaje por ser patrimonio común deberá ser protegido.

Artículo 5:

23. Adoptar las medidas necesarias para asegurar la protección de las especies de flora y fauna silvestres; tomar las previsiones que sean del caso para defender especies en extinción o en peligro de serlo; y expedir los certificados a que se refiere la Convención Internacional de Comercio de Especies de Fauna y Flora Silvestre Amenazadas de Extinción (CITES).

Artículo 31: Las Corporaciones Autónomas Regionales estarán en la función de:

3. Promover y desarrollar la participación comunitaria en actividades y programas de protección ambiental, de desarrollo sostenible y de manejo adecuado de los recursos naturales renovables.

Artículo 65: Funciones de los Municipios, de los Distritos y del Distrito Capital de Santafé de Bogotá. Corresponde en materia ambiental a los municipios, y a los distritos con régimen constitucional especial, además de las funciones que les sean delegadas por la ley o de las que se deleguen o transfieran a los alcaldes por el Ministerio del Medio Ambiente o por las Corporaciones Autónomas Regionales, las siguientes atribuciones especiales:

2. Dictar con sujeción a las disposiciones legales reglamentarias superiores, las normas necesarias para el control, la preservación y la defensa del patrimonio ecológico del municipio.

Propuesta de manejo silvicultural para el arbolado urbano del municipio de Aguazul - Casanare, mediante la aplicación de tecnologías SIG

3. Adoptar los planes, programas y proyectos de desarrollo ambiental y de los recursos naturales renovables, que hayan sido discutidos y aprobados a nivel regional, conforme a las normas de planificación ambiental de que trata la presente Ley (Ley 99, 1993).

### **Ley 299 de 1996**

Artículo 1: La flora colombiana. La conservación, la protección, la propagación, la investigación, el conocimiento y el uso sostenible de los recursos de la flora colombiana son estratégicos para el país y constituyen prioridad dentro de la política ambiental.

Son de interés público y beneficio social y tendrán prelación en la asignación de recursos en los planes y programas de desarrollo y en el presupuesto general de la Nación y en los presupuestos de las entidades territoriales y de las Corporaciones Autónomas Regionales.

Artículo 13: Programas especiales. Los jardines botánicos establecerán programas especiales de arborización urbana, forestación y reforestación de cuencas hidrográficas, para lo cual, previa contratación, prestarán a las entidades estatales asesoría como consultores en estas materias o proveerán, cuando dispongan de viveros, del material vegetal necesario para estos efectos (Ley 299 de 1996, 1996).

### **Ley 1454 de 2011**

Dicta normas orgánicas para el ordenamiento territorial (Ley 1454 Normas Orgánicas Ordenamiento Territorial, 2011).

Artículo 2: El ordenamiento territorial es un instrumento de planificación y de gestión de las entidades territoriales y un proceso de construcción colectiva de país, que se da de manera

Propuesta de manejo silvicultural para el arbolado urbano del municipio de Aguazul - Casanare, mediante la aplicación de tecnologías SIG

---

progresiva, gradual y flexible, con responsabilidad fiscal, tendiente a lograr una adecuada organización político administrativa del Estado en el territorio, para facilitar el desarrollo institucional, el fortalecimiento de la identidad cultural y el desarrollo territorial, entendido este como desarrollo económicamente competitivo, socialmente justo, ambientalmente y fiscalmente sostenible, regionalmente armónico, culturalmente pertinente, atendiendo a la diversidad cultural y físico-geográfica de Colombia.

El ordenamiento territorial propiciará las condiciones para concertar políticas públicas entre la Nación y las entidades territoriales, con reconocimiento de la diversidad geográfica, histórica, económica, ambiental, étnica y cultural e identidad regional y nacional.

#### **Ordenanza 019 del 2019**

Estructura la planificación y protección el recurso arbóreo y vegetal urbano y periurbano de Casanare.



## **5. Referente teórico**

### **Arbolado urbano**

#### **Definición e importancia del arbolado urbano (AU)**

El concepto de arbolado urbano incluye todo el conjunto de árboles, arbustos, palmas o helechos arborescentes presentes en suelo urbano (Decreto 531, 2010). La adición de estos elementos constituye el bosque urbano, en el cual las áreas verdes, de carácter público o privado, con mayor densidad presentes en parques, jardines, huertos o áreas deportivas, son tomados como fragmentos conectados entre sí por corredores biológicos, correspondientes a los árboles dispuestos en separadores y andenes (Secretaría de Medio Ambiente de Medellín, 2015).

El AU interactúa en un complejo sistema humano - ambiental en el cual cumple un papel importante como proveedor de servicios y funciones ambientales. Su estructura varía según las condiciones físicas y climáticas en las que se desarrolla (Berland et al., 2015) y el aporte de sus servicios está directamente relacionado con la calidad de vida que tenga el individuo.

#### **Funciones y servicios ecosistémicos (SE)**

Según la Evaluación de ecosistemas del milenio realizada en 2005, los servicios ecosistémicos son todos aquellos beneficios que la humanidad recibe del medio ambiente y que son vitales para el desarrollo humano (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), estos se dividen en cuatro grandes grupos culturales, regulación, abastecimiento (provisión) y sostenimiento

Propuesta de manejo silvicultural para el arbolado urbano del municipio de Aguazul - Casanare, mediante la aplicación de tecnologías SIG

(soporte) (WWF, 2018), este último grupo incluye aquellos que son transversales para los demás y que sirven como base para su desarrollo (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).



Figura 1. Servicios ecosistémicos. Fuente: (WWF, 2018)

A diferencia de los servicios las funciones ecosistémicas, derivan del potencial que tiene el ambiente para proveer un servicio, es decir, que tan capaz es el ecosistema de producir un servicio de manera óptima (De Groot et al., 2002). Estos se clasifican en cuatro grandes categorías de las cuales se desprenden los SE.

En el entorno urbano los árboles cumplen un papel fundamental, son elementos constitutivos del paisaje que contribuyen a mejorar el ambiente y la calidad de vida de los ciudadanos. La presencia de árboles regula la temperatura interna de las ciudades y disminuye los

efectos de las islas de calor (Hardin & Jensen, 2007), reduce la contaminación del aire, las emisiones de GEI y el ruido (Roeland et al., 2019), mitigan la escorrentía a nivel local (Xiao & Mcpherson, 2002) entre otros beneficios.

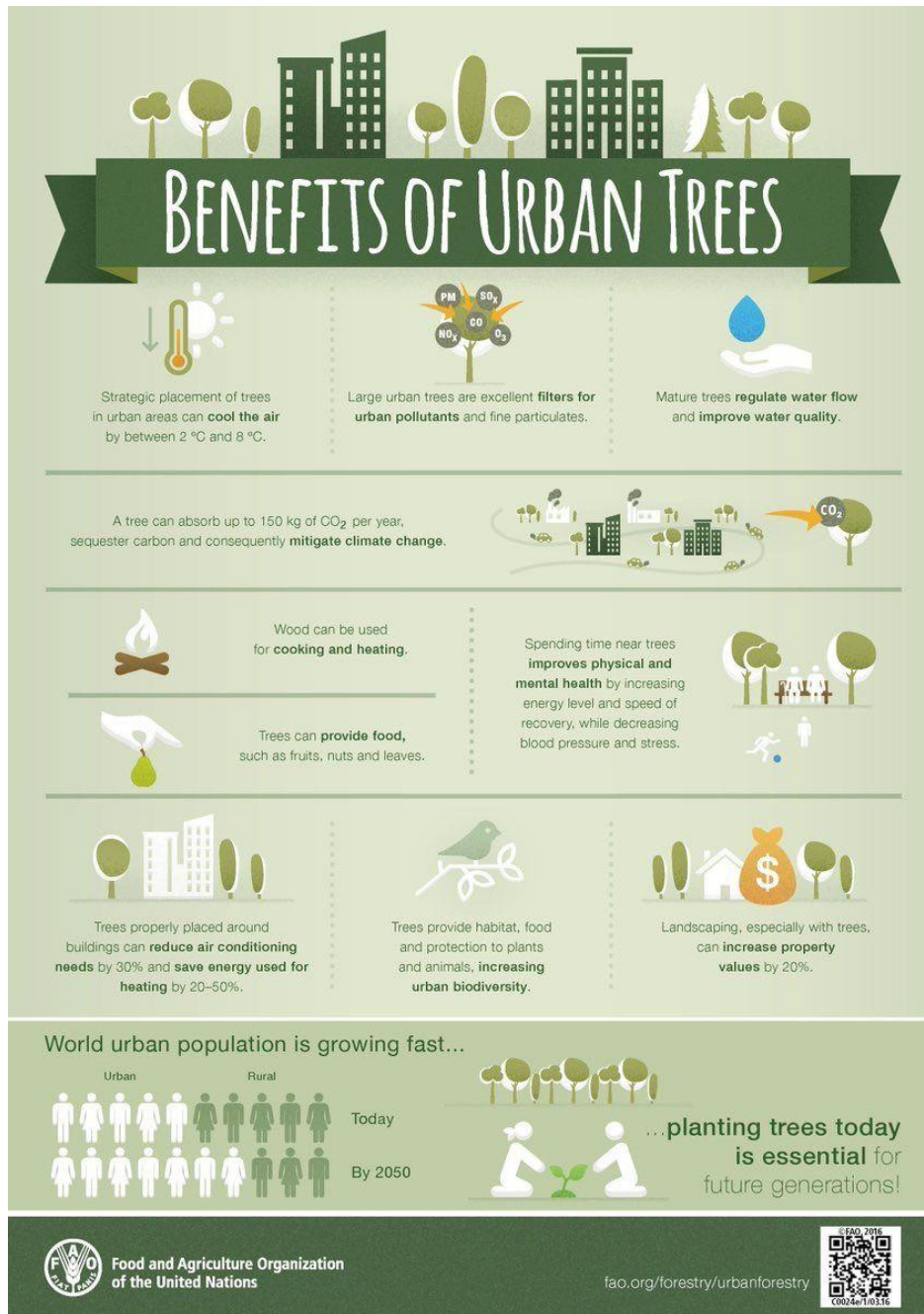


Figura 2. Beneficios de los árboles urbano. (FAO, 2016)

Propuesta de manejo silvicultural para el arbolado urbano del municipio de Aguazul - Casanare, mediante la aplicación de tecnologías SIG

## **Manejo silvicultural urbano**

La silvicultura comprende todas las actividades que se desarrollan con el fin de establecer pautas de diseño, planificación, establecimiento y manejo de árboles individuales o bosques (Benito & Palermo Arce, 2021). El manejo silvicultural urbano es una rama relativamente nueva de la silvicultura cuyo objetivo principal es garantizar la ordenanza de las áreas forestales urbanas naturales o artificiales a la vez que resalta su valor y establece directrices para la intervención, manejo y gestión (Secretaría de Medio Ambiente de Medellín, 2015).

Las labores silviculturales deben obedecer a las necesidades del sitio y de los individuos arbóreos presentes, para ello se deben diseñar planes de manejo cuyas estrategias se orienten a un objetivo específico. En el caso de los árboles urbanos su gestión debe encaminarse a garantizar el correcto desarrollo y bienestar de los individuos a la par que se aumenta la prestación de servicios ecosistémicos. Con este propósito, se debe realizar un diagnóstico de la estructura verde del sitio que permita conocer el tipo de vegetación y la distribución de las especies. Para ello lo más indicado es la elaboración de un inventario forestal, el cual permite conocer la información pertinente al estado, composición y características de un bosque, este recopila datos básicos de los individuos, tales como taxonomía, nombre común, científico, DAP, altura, coordenadas de ubicación, habito de crecimiento, fase de crecimiento y nivel de riesgo (IDEAM, 2018).

La estructura de la vegetación se evalúa desde dos puntos de vista, horizontal y vertical. La estructura horizontal, estudia la distribución de las especies en cuanto a su frecuencia, abundancia y dominancia. Mientras que la estructura vertical analiza la distribución de los individuos en el

---

perfil de vegetación, es decir, estratificación del arbolado y estado sucesional en el que se encuentra el bosque urbano.

La articulación de los datos estructurales de la vegetación juntos con los de nivel de riesgo permiten a los administradores de recursos naturales crear y orientar estrategias de manejo silvicultural efectivas en las cuales se incluya la participación de todas las partes involucradas.

### **Los SIG como herramienta para el manejo silvicultural**

Un SIG es una herramienta de análisis de datos espaciales que integra hardware, software, datos, procesos y usuarios, con el objetivo representar la superficie terrestre y estudiar, predecir o dar solución a los eventos o sucesos que tienen lugar sobre ella.

Los SIG se han convertido en una herramienta indispensable para el manejo de información espacial de los recursos naturales. Su aporte a la toma de decisiones permite entender fenómenos existentes, predecir fenómenos futuros, modelar comportamientos, comprender donde y en qué momento están sucediendo los hechos, cuales recursos que se tienen disponibles entre otras cosas (Kolbina et al., 2020b).

## **6. Metodología**

### **6.1 Enfoque metodológico**

El presente proyecto presenta un enfoque metodológico cuantitativo, ya que recopiló datos del arbolado urbano del municipio de Aguazul, obtenidos a partir de instrumentos de medición directa y bajo un procedimiento estructurado y detallado, que permitió conocer el estado fitosanitario de los individuos arbóreos de la ciudad y establecer los parámetros silviculturales necesarios para su manejo.

### **6.2 Tipo de estudio**

El presente es un estudio de tipo descriptivo, con el cual se obtuvo una reseña específica para cada uno de los individuos que conforman el arbolado urbano. Esta reseña incluyó su identificación taxonómica, altura, DAP, estado fitosanitario y nivel de riesgo, esto con el objetivo de proponer un manual de silvicultura que orientará la gestión y mejoramiento de la cobertura forestal del casco urbano.

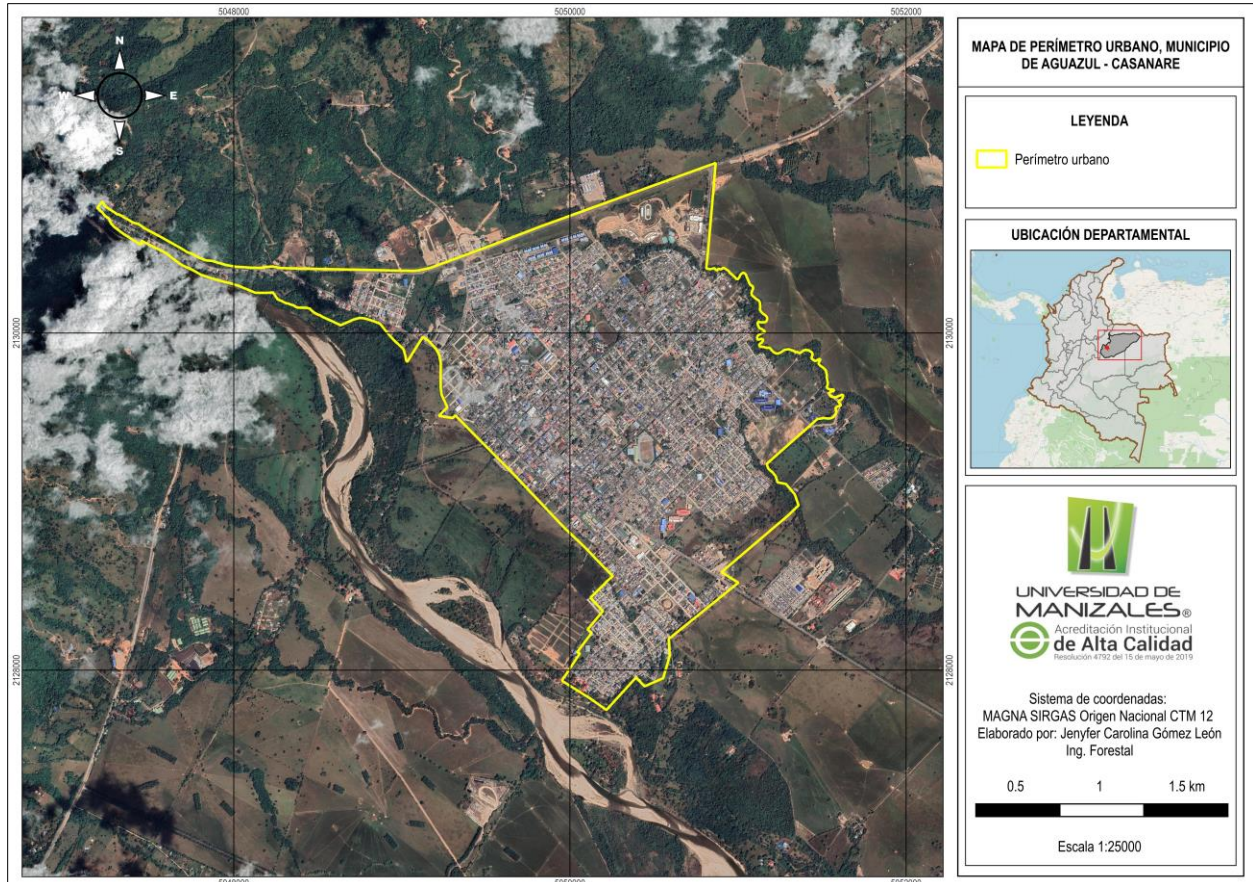
### **6.3 Procedimiento**

#### **6.3.1 Descripción del área de estudio**

El municipio de Aguazul se localiza en el departamento de Casanare, sobre el piedemonte de la cordillera oriental. Es una región de transición entre los paisajes andinos de montaña y las sabanas de la Orinoquia. Su parte rural está dividida en 58 veredas y la zona urbana en 16 barrios

legalizados y 29 juntas de acción comunal, con una extensión total de 148 km<sup>2</sup> de los cuales 4.55 km<sup>2</sup> (455ha) corresponden al perímetro urbano (Alcaldía municipal de Aguazul Casanare, 2022).

**Figura 1.** *Mapa de perímetro urbano, municipio de Aguazul - Casanare*



*Figura 3: Mapa del perímetro urbano del municipio de Aguazul, Casanare*

*Fuente: autores*

### 6.3.2 Inventario del arbolado urbano

Como el objetivo es consolidar un sistema de información sólido para la gestión de los individuos arbóreos del municipio se llevó a cabo un inventario forestal al 100% de las especies de árboles, palmas, arbustos y helechos arborescentes ubicados en las zonas categorizadas como espacio público, dentro del área urbana del municipio de Aguazul y que cumplieran con la condición

Propuesta de manejo silvicultural para el arbolado urbano del municipio de Aguazul - Casanare, mediante la aplicación de tecnologías SIG

de tener más de 2 metros de altura y 5 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP) (Tovar Corzo, 2006).

Según el PBOT del municipio, el espacio público comprende las áreas de parques, polideportivos (canchas múltiples cubiertas, pero con acceso libre) y zonas verdes del perímetro urbano. El área ocupada por los espacios públicos representa cerca del 7% del total del área urbana con 32 ha de las cuales 22 ha corresponden al recientemente construido Parque del arroz (Alcaldía municipal de Aguazul Casanare, 2022).

Para levantar el inventario se empleó la herramienta ArcGIS Field Maps. En ella se estructuró un formulario muy completo con el cual se recolectó información de ubicación (coordenadas X,Y), taxonomía e identidad del individuo (nombre común, nombre científico, familia, género y especie), variables dasométricas (DAP, altura total, altura comercial), hábito de crecimiento (árbol, palma, arbusto), origen (nativo o introducido) y variables necesarias para evaluar el nivel de riesgo y los servicios ecosistémicos (tronco, ramas, raíces). Este formulario fue una sencilla adaptación del formulario de la ISA, la cual es una entidad reconocida a nivel internacional en la gestión del arbolado urbano.

ArcGIS Field Maps, es un aplicativo que facilita la recopilación y edición de datos de campo. Dentro de sus múltiples bondades se destaca la actualización en tiempo real de los datos, lo cual incrementa el dinamismo en los flujos de trabajo. El formulario de campo se dividió en siete secciones:

1. **Encabezado:** Recopiló nombre del profesional que levantó la información, el barrio donde se encontraba el árbol y la fecha en la que se capturaron los datos.

Propuesta de manejo silvicultural para el arbolado urbano del municipio de Aguazul - Casanare, mediante la aplicación de tecnologías SIG

The image shows a screenshot of a field form titled "Inventario arbóreo Aguazul, Casanare". The form has three main sections: "Nombre del profesional" with a radio button selected for "Jenyfer Carolina Gómez León"; "Barrio" with a list of 16 neighborhood options, where "Carlos Pizarro" is selected; and "Fecha" with a date selection dropdown menu.

*Figura 4: Encabezado del formulario de campo ArcGIS Field Maps*

2. **Información general:** Este apartado contiene las variables, FID, coordenada X y Y, emplazamiento, nombre común y observaciones. Cada árbol se codificó con un único código que servirá como ID dentro de la base de datos.

La variable emplazamiento se utilizó para definir el lugar donde se encontraba establecido el árbol, para esto se creó dentro del formulario un menú de opciones con cinco categorías, andén, parque, zona verde, separador, cancha y monumento.

Observaciones y nombre común fueron campos editables. En nombre común se ingresó el nombre con el cual los habitantes denominan el árbol y en observaciones se dispuso aquella información relevante que no podía ser incluida en ninguna otra casilla, por ejemplo, si el individuo ha sido víctima de vandalismo, si se encuentra cubierto por alguna especie invasora o si sirve de refugio para fauna.

Propuesta de manejo silvicultural para el arbolado urbano del municipio de Aguazul - Casanare, mediante la aplicación de tecnologías SIG

INFORMACION GENERAL 6

FID\_Arbore

Solo lectura </> Calculado

X

Y

Emplazamiento

Anden

Parque

Zona verde

Separador

Cancha

Monumento

Observacio

Nom\_común

Figura 5: Vista del apartado "Información general" del formulario de campo ArcGIS Field Maps

3. **Variables dasométricas:** incluyó las variables diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (ht) y altura comercial (hc). El DAP se tomó con una cinta diamétrica a una altura de 1.3 metros tomados desde la base del árbol. La altura total comprendió la longitud del individuo desde la base hasta el ápice de su última rama y la altura comercial o altura de fuste se tomó desde la base del árbol hasta donde sale la primera rama. Para medirlas se empleó un hipsómetro laser de precisión. Todas las mediciones se hicieron teniendo en cuenta las recomendaciones dictadas en el “Manual de campo para inventario forestal nacional en Colombia” (IDEAM, 2018).



Figura 6: Vista del apartado "Variables dasométricas" del formulario de campo ArcGIS Field Maps

4. **Tronco:** Esta sección recopiló información del estado del tronco requerida para el análisis de riesgo. Talla es un campo calculado que se rellenó automáticamente a partir de la altura total del individuo, según las categorías expuestas en la tabla 1. Estado del tronco (Et) evaluó la presencia o ausencia de afectaciones de tipo plagas, enfermedades, cortes o daños mecánicos en el tronco.

Inclinación se dispuso como un campo calculado que se obtuvo a partir de la medición del ángulo formado entre el eje vertical (Y) y el fuste, este se categorizó según como se muestra en la Tabla 1.



Figura 7: Vista del apartado "Tronco" del formulario de campo ArcGIS Field Maps

Propuesta de manejo silvicultural para el arbolado urbano del municipio de Aguazul - Casanare, mediante la aplicación de tecnologías SIG

Expresión If

```

▶ Ejecutar
1  var angulo =$feature.Angulo;
2  IIf(angulo <= 30, 0, 1)

```

Figura 8: Ejemplo de expresión utilizada en ArcGIS Field Maps para diligenciar campos calculados

5. **Ramas:** Compiló los datos sobre el estado de las ramas para el análisis de riesgo. El diámetro de la rama se midió con cinta diamétrica y se discriminó en el campo calculado “D” según las clases dispuestas en la tabla 1 para la variable “Diámetro de la rama”. El estado de las ramas evaluó la presencia o ausencia de afectaciones en las ramas y la altura de las ramas (H\_rama) se dispuso como un campo calculado a partir de la altura comercial del individuo (hc).

The screenshot shows the 'RAMAS' section of a form in ArcGIS Field Maps. It contains four input fields: 'D\_ramas', 'D', 'E\_ram', and 'H\_rama'. The 'D' and 'H\_rama' fields are marked as 'Calculado' (Calculated) and have a 'Solo lectura' (Read-only) icon. The 'D' field also has a '</>' icon next to the 'Calculado' label.

Figura 9: Vista del apartado "Ramas" del formulario de campo ArcGIS Field Maps

6. **Raíces:** Calificó el estado de la raíz a partir de percepción visual, es decir, si esta tenía presencia o ausencia de daños estructurales o plagas y enfermedades.

Propuesta de manejo silvicultural para el arbolado urbano del municipio de Aguazul - Casanare, mediante la aplicación de tecnologías SIG



Figura 10: Vista del apartado "Raíces" del formulario de campo ArcGIS Field Maps

7. **Vulnerabilidad (V):** se diligenció como un campo calculado a partir del análisis de presencia o ausencia de interacción entre el individuo arbóreo con personas, vehículos, construcciones y redes eléctricas.



Figura 11: Vista del apartado "Vulnerabilidad" del formulario de campo ArcGIS Field Maps

Las variables nombre científico, genero, especie, familia, origen, hábito, amenaza, vulnerabilidad, riesgo, categoría de riesgo, categoría de amenaza y categoría de vulnerabilidad, se diligenciaron en oficina una vez culminó la etapa de campo.

### **6.3.3 Evaluación el nivel de riesgo y servicios ecosistémicos**

#### **Análisis de riesgo**

El nivel de riesgo se evaluó con ayuda del “Método de evaluación del riesgo asociado a arboles urbanos del Valle de Aburra” el cual es una adaptación de la evaluación de riesgo utilizada por la Sociedad Internacional de Arboricultura (ISA) y, que según las recomendaciones dadas por Coelho-Duarte et al., 2021, es el más adecuado debido a que no presenta limitaciones de aplicación, provee una mejor distribución en la calificación de los riesgos y permite evaluar los riesgos de diferentes defectos en un mismo individuo.

Esta metodología define el riesgo como el producto entre la amenaza y la vulnerabilidad, entendiendo como amenaza a un factor externo o físico del sujeto que representa un peligro latente y como vulnerabilidad a factores internos del sistema en donde se hayan los individuos y que están expuestos a una fuente de amenaza (Moreno Hurtado & Hoyos Estrada, 2015). Cada uno de estos factores es el resultado de la interacción de otras variables que se exponen en tabla 1.

Los datos para calcular la amenaza y vulnerabilidad, requeridas en el análisis de riesgo, se levantaron en el inventario y se agruparon y discriminaron según su fuente de amenaza y la parte del árbol a la que hacían referencia. Volcamiento se evaluó a partir del análisis del tronco. Caída de ramas se calculó con ayuda de la sección ramas. Por último, raíces se tomó de la sección raíz descrita anteriormente.

Tabla 1. Factores de amenaza y vulnerabilidad para evaluación de riesgo.

Factor	Fuente	Variable de riesgo	Descripción	Categoría	Valor
Externo: Amenaza (A)	Volcamiento (Vo)	Talla (T)	A mayor altura, mayor es el riesgo asociado al árbol	<10 m	1/3
				10 – 20 m	2/3
				>20m	1
		Especie (Sp)	Susceptibilidad de la especie a volcarse súbitamente sin mostrar síntomas	No se vuelca	1/3
				No existe información	2/3
				Se vuelca	1
		Estado tronco (Et)	Afectación del tronco por plagas y enfermedades, daños mecánicos, etc	Sano	0
				Enfermo	1
		Inclinación (I)	Inclinación del árbol sobre el eje vertical	Ángulo ≤ 30°	0
				Ángulo > 30°	1
	$Vo = (T + Sp + Et + I) / 4$				
	Caída de ramas (Cr)	Diámetro de rama (D)	A mayor diámetro de la rama, mayor es su energía cinética	≤ 5cm	0
				>5cm	1
		Especie (Sp)	Susceptibilidad de la especie a perder sus ramas de forma natural o por acción del viento	No susceptible, sin poda natural	1/3
				Susceptible, sin poda natural	2/3
				Susceptible, con poda natural	1
		Estado ramas (Eram)	Afectación de ramas por plagas y enfermedades, daños mecánicos, etc	Sano	0
				Enfermo	1
		Altura (H)	A mayor altura de la rama, mayor es su energía cinética	≤ 5m	0
				>5m	1
		$Cr = (D + Sp + Eram + H) / 4$			
	Raíces (Ra)	Estado raíz (Erai)	Afectación de las raíces por pudriciones, daños, podas, etc	Buen estado	0
				Mal estado	1
	$Ra = Erai$				
$A = (Vo + Cr + Ra) / 3$					
			Tránsito o permanencia de	Ausencia	0

Interno: Vulnerabilidad (V)		Personas (P)	personas, como en parques y andenes	Presencia	1
		Vehículos (Ve)	Tránsito o permanencia de vehículos, como en parqueaderos o vías	Ausencia	0
				Presencia	1
		Construcciones (C)	Presencia de construcciones que pudieran afectarse	Ausencia	0
				Presencia	1
		Redes electricas (Re)	Presencia de redes electricas que pudieran afectarse	Ausencia	0
				Presencia	1
		$V = (P + Ve + C + Re) / 4$			
<b>RIESGO (R) = A * V</b>					

Fuente: (Moreno Hurtado & Hoyos Estrada, 2015)

### Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos se evaluaron con ayuda de la Suite i-Tree y su herramienta i-Tree Eco V6.0, esta fue desarrollada por el Servicio Forestal del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) como una herramienta para evaluar los beneficios de los servicios ecosistémicos en áreas forestales específicas. I-tree Eco utiliza datos de inventarios forestales y los combina con datos meteorológicos locales y de contaminación del aire, para emitir un análisis cuantitativo de los beneficios que aportan los árboles en términos de almacenamiento de carbono, producción de oxígeno, remoción de contaminantes en el aire, entre otros (USDA, 2017).

Para efectos del presente proyecto se cuantificaron solo los servicios ecosistémicos de producción de oxígeno y secuestro y almacenamiento de carbono, esto debido a la naturaleza de los datos levantados en el inventario.

La herramienta solicitó datos del inventario forestal, tales como nombre científico, DAP, altura total, estatus o condición de la especie (nativo o introducido), estrato (emplazamiento), uso de la tierra (residencial), aparte de datos meteorológicos que fueron obtenidos de la estación

Meteorológica “802226-99999” ubicada en Yopal, precio en pesos del kilovatio por hora COP/kWh, obtenido de la factura de energía del municipio y valor de la tonelada de carbono COP/tonelada consultado en la página oficial de ASOCARBONO.

### **6.3.4 Diseño de herramienta SIG**

Como el fin último de este proyecto es el diseño de una herramienta SIG que exponga el estado del arbolado urbano de los espacios públicos del municipio y que a su vez permita la interacción entre el usuario y el contenido de la plataforma, se optó por utilizar la herramienta. Esta permite crear aplicativos webs de manera amigable, con ayuda de plantillas configurables, widgets y temas interconectados. Dentro de sus beneficios se resaltan administración de contenido dinámico, creación de interfaces modernas, diseño flexible sin codificación, compatibilidad con diferentes dispositivos, conexión a datos de ArcGIS Online, entre otros (Esri, 2022).

### **6.3.5 Protocolo de manejo silvicultural**

El protocolo o plan de manejo silvicultural se consolidó a partir de los resultados obtenidos en el inventario y la evaluación del riesgo. Este propone medidas de manejo para aquellos individuos que requieren atención inmediata y pautas para cada especie según sus requerimientos.

## **7. Resultados**

### **7.1.1 Inventario del arbolado urbano**

#### **Revisión de información secundaria**

Con miras de establecer una línea base sólida, del número de individuos arbóreos presentes en el municipio y que permitiera planear estratégicamente las jornadas de medición, se realizó una revisión de información secundaria entre los diferentes entes administrativos del municipio y del departamento (Corporación autónoma y alcaldía municipal). De esta revisión se obtuvo la base de datos “Anexo - Censo Forestal – CD” del municipio de aguazul suministrado por la “secretaría de desarrollo económico y ambiental de la alcaldía municipal”.

En esta reposan los registros de 14124 individuos distribuidos a lo largo de todo el perímetro urbano. El archivo reunía para cada individuo datos de coordenadas X,Y, nombre común, altura total y comercial, estado fitosanitario, tipo y observación, en esta última se hallaban los datos de emplazamiento codificados como separador (A), antejardín (B), zona verde (C) y parque (D) (Figura 12, Anexo A).

Como los datos suministrados no contaron con la calidad requerida para este proyecto, se procedió a levantar el inventario arbóreo del 100% de los individuos localizados en las zonas denominadas como espacio público

A		B		C		D		E		F		G		H		I		J	
		<b>CATASTRO DE ARBOLES UBICADOS EN SEPARADORES, ANTE JARDINES, ZONAS VERDES Y PARQUES DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE AGUAZUL - CASANARE . ANEXO 1 - CENSO.</b>																	
<b>Proyecto:</b> Actualización del Plan de gestión Integral de residuos sólidos (PGIRS)				Separador A		Ante Jardín: B		Parque: D											
Cant	No.	Nombre común	H comer (m)	Htotal (m)	Estado fitosanitario	Tipo	Observac	Coordenada X	Coordenada Y										
1	1	Naranja	0.5	2	Ataque de hormiga	1	B	835609	1064649										
2	2	Guanábano	0.5	1.5	Sano	1	B	835611	1064649										
3	3	Aguacate	0.5	1	Sano	1	B	835611	1064651										
4	4	Papayuelo	0.5	1	Sano	1	B	835616	1064650										
5	5	Aguacate	0.5	1	Sano	1	B	835619	1064649										
6	6	Guamo	0.7	6	Sano	2	B	835619	1064648										
7	7	Mango	0.3	0.8	Sano	1	B	835620	1064647										
8	8	Arazá	0.6	1.7	Sano	1	B	835627	1064608										
9	9	Swinglia	0.7	2.1	Sano	1	B	835617	1064584										
10	10	Guanábano	1.2	2.3	Sano	1	B	835611	1064563										
11	11	Mango	2.3	2.3	Sano	1	B	835610	1064563										
12	12	Aguacate	2.5	5	Sano	1	B	835573	1064529										
13	13	Guarataro	2.2	6	Sano	2	B	835569	1064545										
14	14	Oití	0.5	1.5	Sano	1	B	835573	1064557										
15	15	Oití	0.7	2.3	Sano	1	B	835575	1064561										
16	16	Oití	0.7	2.3	Sano	1	B	835576	1064563										
17	17	Oití	0.7	2.3	Sano	1	B	835578	1064567										
18	18	Oití	0.3	2.3	Sano	1	B	835580	1064572										
19	19	Oití	0.9	2.4	Sano	1	B	835580	1064576										
20	20	Oití	0.5	2.2	Sano	1	B	835581	1064578										

Figura 12. Modelo de base de datos del catastro arbóreo del casco urbano del municipio de Aguazul, Casanare 2015

El levantamiento del inventario se inició el 28 de octubre del 2023 y culminó el 10 de enero del presente año. En la siguiente tabla se describen las fechas, las zonas inventariadas y el total de individuos registrados en cada jornada (Anexo B)

Tabla 2: Jornadas de medición

Fecha levantamiento	Total, individuos
28/10/2023	101
04/11/2023	67
11/11/2023	250
18/11/2023	83
25/11/2023	124
02/12/2023	260
09/12/2023	56
16/12/2023	319
23/13/2023	222
10/01/2024	321

Una vez culminada la fase de campo, se procedió a realizar el respectivo control de calidad de los datos, este se realizó siguiendo lo establecido por la IBM, esta sugiere la implementación de filtros para revisar los datos del inventario en cuanto a términos de integridad (identificación de datos ausentes, campos sin diligenciar, datos atípicos, unidades de medida), coherencia lógica y precisión espacial (IBM, 2024). Una vez aplicados los ajustes se diligenciaron los campos que debían ser calculados, esto debido a que en campo solo se levantó la información básica de los individuos arbóreos, dejando para el trabajo de oficina el cálculo de campos tales como nombre científico, familia, género y especie origen y estado de conservación. En los casos que se presentaron dudas durante la identificación de las especies se obtuvo apoyo de catálogos y herbarios virtuales tales como el Catálogo de nombres comunes de plantas de Colombia (Universidad nacional de Colombia, 2017), World Flora Online (WFO, 2024) y Trópicos (Jardín Botánico de Misuri, 2024).

El estado de conservación se consolidó a partir de la información reportada por el UICN (UICN, 2024), Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres (CITES Colombia, 2024) y Resolución 1912 de 2017 Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2017.

La base de datos obtenida al final de este ejercicio contiene 53 campos debidamente diligenciados (exceptuando el campo de adjuntos) y 1803 registros (Ver Anexo C).

### Composición de especies

El arbolado urbano presente en los espacios públicos del municipio está compuesto por un total de 1803 individuos distribuidos en 20 familias, 45 géneros y 49 especies. Las familias más representativas son Chrysobalanaceae, Fabaceae, Myrtaceae, Arecaceae, Bignoniaceae, Anacardiaceae, Combretaceae, Lamiaceae y Malvaceae, dentro de estas nueve se haya el 97% de los sujetos muestreados.

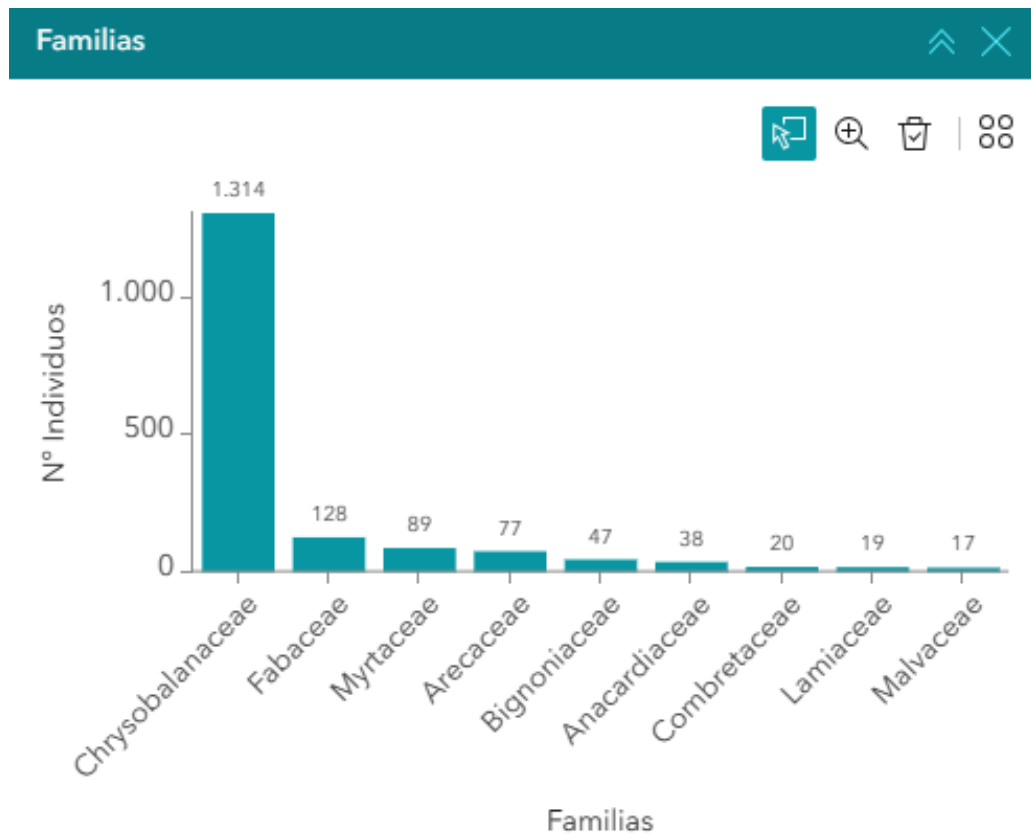


Figura 13: Familias más representativas del arbolado urbano

Estas familias se caracterizan por tener flores de colores llamativos y producir frutos jugosos tipo drupas o en capsulas como las nueces. Esto hace que se conviertan en plantas muy atractivas para una gran variedad de aves, a las cuales los árboles les sirven como soporte y refugio

mientras que a su vez ellas le ayudan a dispersar sus semillas y polinizar las áreas vecinas (Rangel-CH. Orlando J, 2023).

Los géneros más representativos son Moquilea, Syzygium, Brownea, Mangifera y Tabebuia y las especies tomentosa, malaccense, ariza, indica y rosea.

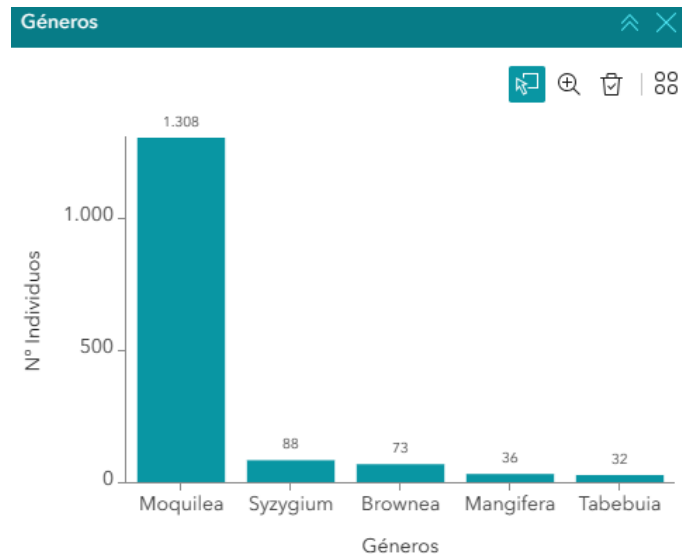


Figura 14: Géneros más representativas del arbolado

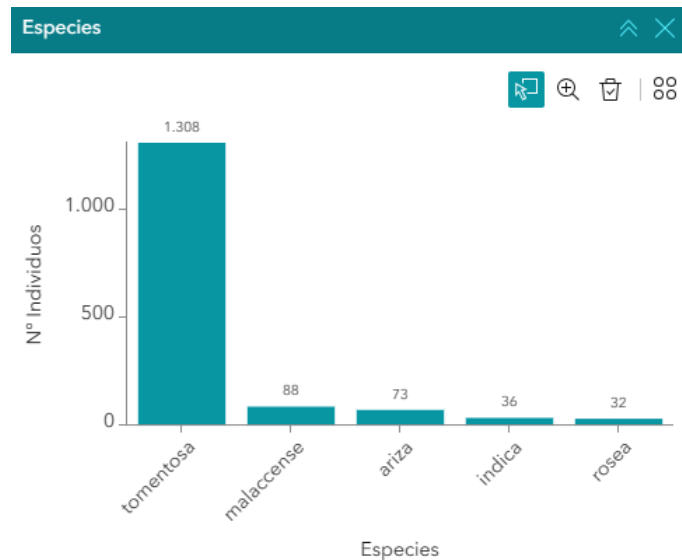


Figura 15: Especies más representativas del arbolado

## Estructura

En términos de abundancia la especie *Moquilea tomentosa*, conocida comúnmente como Oiti obtuvo los valores más altos con 1308 individuos equivalentes al 70% de los árboles muestreados. En segundo lugar, se encuentra el *Syzygium malaccense* con 88 individuos (5%) y el *Brownea ariza* con 73 individuos (4%).

En cuanto a la frecuencia y dominancia el *Moquilea tomentosa* volvió a ocupar el puesto número uno como la especie que más estuvo presente en las áreas de muestreo, seguida del *Syzygium malaccense* y el *Mangifera indica*.

El análisis del IVI arrojó que las cinco especies con mayor importancia dentro del área de muestreo son *Moquilea tomentosa*, *Syzygium malaccense*, *Mangifera indica*, *Brownea ariza* y *Tabebuia rosea*.

Si bien el *Moquilea tomentosa* es una especie introducida, ha logrado posicionarse, por sobre las especies nativas, como una de las especies más importantes del ecosistema urbano y esto impacta significativamente la estructura y función de la comunidad. Se entiende que cuando una especie introducida se convierte en dominante aumenta el potencial de desplazamiento frente a otras especies y que esto puede ocasionar un sesgo en la fauna que deriva en una subsecuente pérdida de la biodiversidad. Sin embargo, el oití ha logrado posicionarse porque su interacción en el medio ha favorecido el desarrollo de muchas otras especies locales, lo cual ha mantenido una diversidad aceptable en términos de diversidad de fauna (Fernando & Merchán, 2018).

Tabla 3: Estructura horizontal del arbolado urbano

ESTRUCTURA ARBOLADO URBANO							
Especie	AA	AR	FA	FR	DA	DR	IVI
<i>Anacardium occidentale</i>	1	0%	2,56	1%	48,1	0%	1%
<i>Annona purpurea</i>	2	0%	2,56	1%	33,6	0%	1%
<i>Attalea maripa</i>	3	0%	2,56	1%	57,9	0%	1%
<i>Bougainvillea glabra</i>	4	0%	2,56	1%	56,4	0%	1%
<i>Bursera simaruba</i>	1	0%	2,56	1%	23,1	0%	1%
<i>Cassia fistula</i>	1	0%	2,56	1%	25,9	0%	1%
<i>Cassia grandis</i>	1	0%	2,56	1%	16,1	0%	1%
<i>Cenostigma pluviosum</i>	10	1%	2,56	1%	204,2	1%	2%
<i>Citrus × limon</i>	2	0%	2,56	1%	21,0	0%	1%
<i>Citrus × limonia</i>	2	0%	2,56	1%	37,8	0%	1%
<i>Cocos nucifera</i>	9	0%	2,56	1%	161,9	0%	2%
<i>Delonix regia</i>	2	0%	2,56	1%	129,5	0%	1%
<i>Ficus elastica</i>	1	0%	2,56	1%	76,9	0%	1%
<i>Ficus sp</i>	2	0%	2,56	1%	55,3	0%	1%
<i>Gliricidia sepium</i>	2	0%	2,56	1%	57,3	0%	1%
<i>Gmelina arborea</i>	10	1%	2,56	1%	334,6	1%	2%
<i>Leucaena leucocephala</i>	1	0%	2,56	1%	17,5	0%	1%
<i>Morinda citrifolia</i>	1	0%	2,56	1%	18,2	0%	1%
<i>Myrcia sp</i>	1	0%	2,56	1%	14,2	0%	1%
<i>Olea europaea</i>	1	0%	2,56	1%	41,8	0%	1%
<i>Persea caerulea</i>	1	0%	2,56	1%	22,6	0%	1%
<i>Piptadenia pteroclada</i>	1	0%	2,56	1%	31,7	0%	1%
<i>Pseudosamanea guachapele</i>	5	0%	2,56	1%	545,2	2%	2%
<i>Spondias mombin</i>	1	0%	2,56	1%	41,5	0%	1%
<i>Swinglea glutinosa</i>	2	0%	2,56	1%	21,7	0%	1%
<i>Triplaris americana</i>	3	0%	2,56	1%	55,3	0%	1%
<i>Ceiba pentandra</i>	3	0%	5,13	1%	368,0	1%	2%
<i>Citrus reticulata</i>	6	0%	5,13	1%	89,3	0%	2%
<i>Elaeis guineensis</i>	7	0%	5,13	1%	295,2	1%	2%
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	4	0%	5,13	1%	368,3	1%	2%
<i>Jacaranda obtusifolia</i>	2	0%	5,13	1%	33,8	0%	1%
<i>Roystonea oleracea</i>	3	0%	5,13	1%	110,1	0%	2%
<i>Spathodea campanulata</i>	9	0%	5,13	1%	177,3	1%	2%
<i>Vochysia lehmannii</i>	4	0%	5,13	1%	139,1	0%	2%
<i>Handroanthus chrysanthus</i>	4	0%	7,69	2%	58,8	0%	2%
<i>Latania loddigesii</i>	9	0%	7,69	2%	465,9	1%	4%
<i>Roystonea regia</i>	21	1%	7,69	2%	569,7	2%	5%
<i>Ficus benjamina</i>	7	0%	10,26	2%	508,9	2%	4%
<i>Guazuma ulmifolia</i>	14	1%	10,26	2%	273,6	1%	4%

Propuesta de manejo silvicultural para el arbolado urbano del municipio de Aguazul - Casanare, mediante la aplicación de tecnologías SIG

<i>Licania pyrifolia</i>	6	0%	10,26	2%	73,2	0%	3%
<i>Melicoccus bijugatus</i>	15	1%	10,26	2%	315,9	1%	4%
<i>Pithecellobium dulce</i>	14	1%	10,26	2%	590,0	2%	5%
<i>Senna siamea</i>	14	1%	10,26	2%	507,9	1%	5%
<i>Brownea ariza</i>	73	4%	12,82	3%	756,1	2%	9%
<i>Vitex orinocensis</i>	9	0%	12,82	3%	214,5	1%	4%
<i>Adonidia merrillii</i>	25	1%	20,51	5%	345,0	1%	7%
<i>Tabebuia rosea</i>	32	2%	20,51	5%	697,3	2%	8%
<i>Terminalia catappa</i>	20	1%	23,08	5%	496,4	1%	8%
<i>Mangifera indica</i>	36	2%	41,03	9%	833,1	2%	14%
<i>Syzygium malaccense</i>	88	5%	43,59	10%	2004,6	6%	21%
<i>Moquilea tomentosa</i>	1308	73%	82,05	18%	21470,0	63%	154%
<b>TOTAL</b>	1803	100 %	448,71795	100%	33911,21	100%	300%

### 7.1.2 Nivel de riesgo

El nivel de riesgo se obtuvo como el producto entre la amenaza y la vulnerabilidad calculadas con la información levantada en campo y administradas con ayuda de la calculadora de campos del software ArcGIS PRO.

#### Amenaza

Por medio de esta variable se analizaron aspectos físicos del árbol que podrían representar un peligro latente. Para ello se dividió la estructura del árbol en tres grupos (tronco, ramas y raíces) y se analizó el suceso que podría llegar a presentarse (volcamiento, caída de ramas, daños por la raíz).

Para analizar el volcamiento se emplearon variables tales como la talla del árbol, el estado del tronco, la inclinación y la susceptibilidad de la especie a caer sin presentar señales de daño o enfermedad. Los resultados más relevantes se describen a continuación. El 93% de los árboles inventariados, es decir 1669 individuos, presentan una altura menor a 10 m, un resultado positivo

ya que en general los árboles pequeños representan menos riesgos. En cuanto al estado del tronco, del total de sujetos muestreados 1487 se encuentran sanos (82%) y solo el 3.05% de individuos tiene susceptibilidad a volcarse.

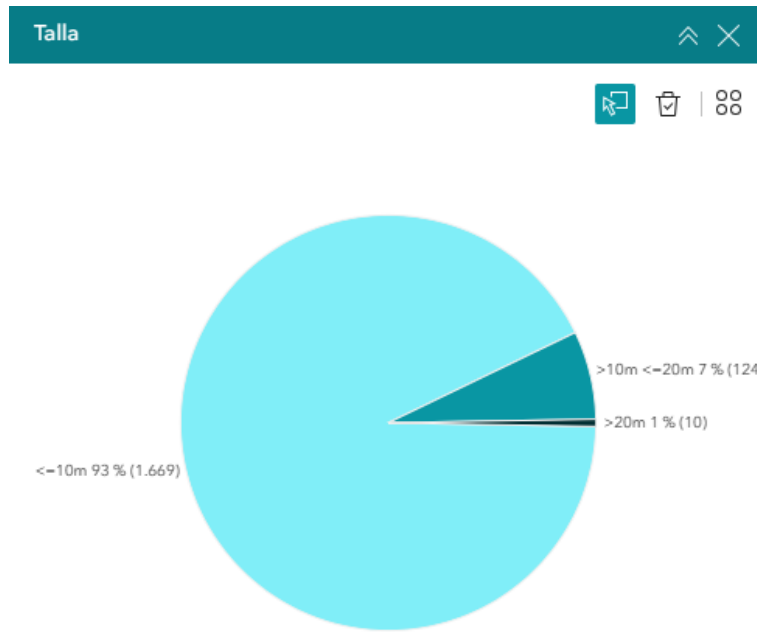
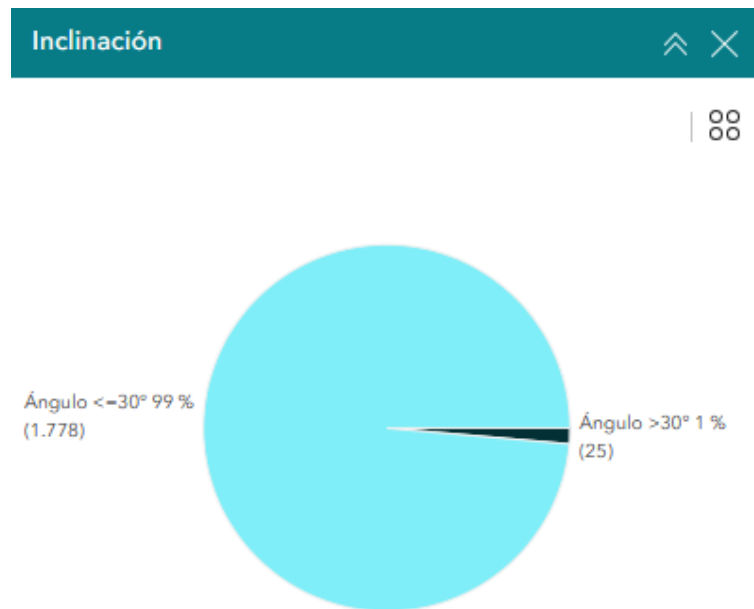


Figura 16: Talla



Figura 17: Susceptibilidad al volcamiento



*Figura 18: Inclinación*

La variable caída de ramas presentó un escenario poco alentador, ya que se determinó que el 98% de la población es susceptible a perder sus ramas, a pesar de que el 93.5% del total de individuos se encuentra sano y no presenta enfermedades ni afectaciones físicas. Por último, la raíz fue la estructura que presentó mayor número de individuos enfermos o con presencia de alteraciones, en total se registraron 376 sujetos que corresponden al 20% de la población.

En términos de amenaza a nivel general, se determinó que los árboles muestreados no presentan grados altos de amenaza, ya que en esta categoría se encuentran tan solo el 8% equivalente a 150 individuos, del porcentaje restante el 76% representa una baja amenaza y el 16% restante un grado medio.

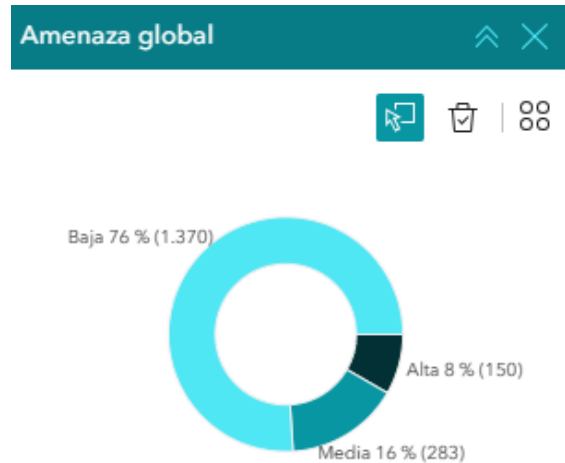


Figura 19: Amenaza

Ahora bien, dentro del contexto de los individuos que se encuentran en la categoría de amenaza alta, 102 son menores a 10 m, 43 están entre el rango de los 10 y 20 m y tan solo 5 sobrepasan los 20m. En cuanto a la inclinación 132 tienen un ángulo menor a 30° y los 18 restantes superan por poco esta medida. En esta categoría el individuo que representa la calificación mas alta corresponde a un arbol de *Guazuma ulmifolia*, ubicado en la “Cancha Villa Luz”, barrio “Villa Luz”.

## Vulnerabilidad

Esta se analizó desde la perspectiva de los factores externos que interactúan con el individuo y que podrían verse afectados en caso de presentarse una emergencia. Se valoró la presencia o ausencia de personas, vehículos, construcciones o redes eléctricas. De esto se obtuvo que del total de individuos muestreados solo el 40,6% presenta una alta vulnerabilidad, este es un porcentaje aceptable, teniendo en cuenta que al ubicarse en espacios públicos su interacción con elementos externos es alta.

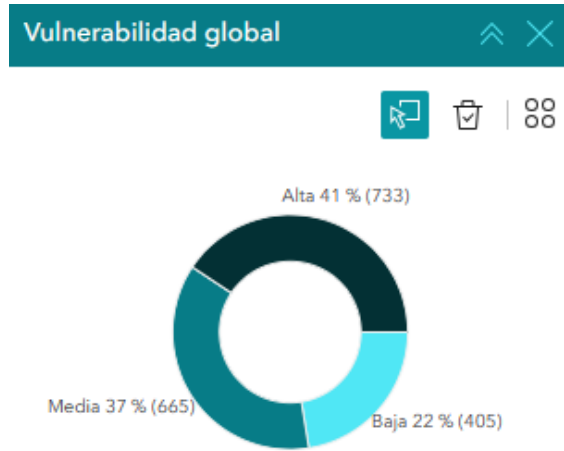


Figura 20: Vulnerabilidad

### Riesgo

El producto entre la amenaza y la vulnerabilidad es el riesgo, que para efectos de este proyecto es el indicador más importante. En términos generales la población arbórea muestreada se clasificó dentro de la categoría riesgo bajo, tan solo 94 individuos (5%) son considerados como arboles de alto riesgo, los demás se distribuyen así, 1473 sujetos en riesgo bajo y 236 en riesgo medio. Esto era de esperarse ya que como fue posible notar las variables amenaza y vulnerabilidad, de las que proviene el riesgo, no obtuvieron valores muy altos.

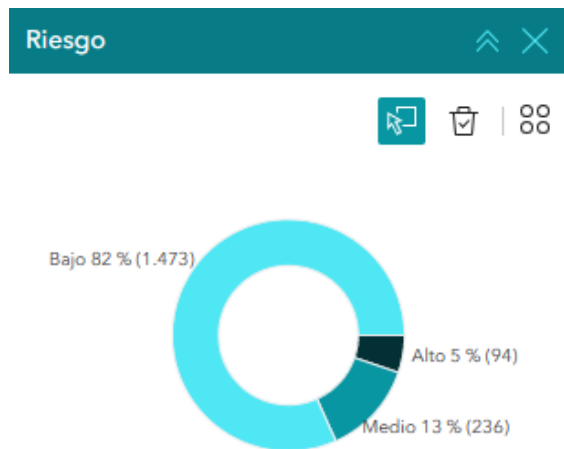


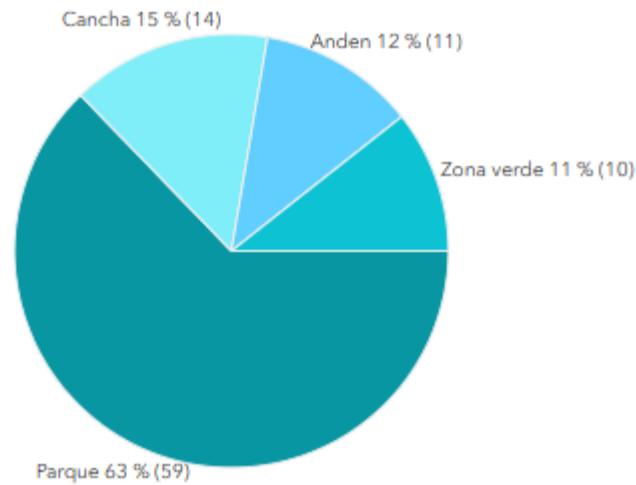
Figura 21: Categorías de riesgo

De los 94 individuos que se encuentran categorizados como de alto riesgo el 100% tiene afectaciones y daños en la raíz, 31 árboles tienen enfermedades en el tronco y 22 afecciones en ramas.

Tabla 4: Salud de los individuos categorizados en alto riesgo

Nombre común	Nombre científico	Salud						Total, individuos en riesgo
		Raíz		Tronco		Ramas		
		Enfermo	Sano	Enfermo	Sano	Enfermo	Sano	
Acacia amarilla	<i>Senna siamea</i>	2		1	1	1	1	2
Almendro	<i>Terminalia catappa</i>	9		2	7	3	6	9
Caracaro, orejero	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	3			3	1	2	3
Cuceto palo cruz	<i>Brownea ariza</i>	1			1		1	1
Ficus benjamina, Ficus	<i>Ficus benjamina</i>	2		1	1	1	1	2
Gallinero	<i>Pithecellobium dulce</i>	2		1	1	2		2
Guayacan Yopo	<i>Piptadenia pteroclada</i>	1			1			1
Mamoncillo	<i>Melicoccus bijugatus</i>	3			3			3
Mango	<i>Mangifera indica</i>	7			7			7
Melina	<i>Gmelina arborea</i>	8			8			8
Nauno	<i>Pseudosamanea guachapele</i>	2			2			2
Ocobo	<i>Tabebuia rosea</i>	2		1	1	1	1	2
Oití	<i>Moquilea tomentosa</i>	42		21	21	13	29	42
Pomarroso	<i>Syzygium malaccense</i>	10		4	6			10
<b>Total</b>								94

El 63% de individuos que está dentro de esta categoría se localizan en parques, en donde interactúan permanentemente con adultos, niños y bienes muebles e inmuebles. Sin embargo, los tres individuos con el riesgo más alto se localizan en zonas poco concurridas, el primero es un árbol de *Ficus benjamina* ubicado en el Parque 18 y los otros son dos árboles de *Pithecellobium dulce* localizados en la Cancha 35.



*Figura 22: Emplazamiento de los árboles categorizados como de alto riesgo*

### **Servicios ecosistémicos**

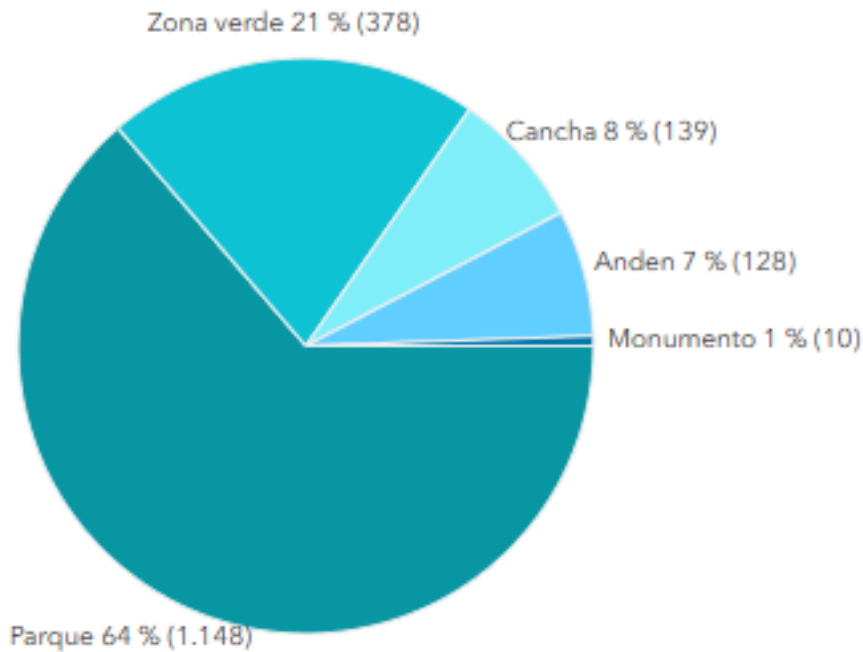
Los individuos arbóreos del municipio de Aguazul almacenan un total de 391.936,8 lb CO<sub>2</sub>/año, producen 52.032,4 lb O<sub>2</sub>/año y secuestran 19.513,1 lb O<sub>2</sub>/año. Anualmente estos árboles generan un beneficio económico de 251.696,14 COP/año, que, si bien no es una cifra elevada, hay que contrarrestarla con el valor que tendría el reemplazarlos a todos 4.997.992.699,11 COP/año.

Si, por ejemplo, se evalúa el escenario en el cual se deban reemplazar los arboles que representan un alto riesgo (94 individuos), el costo de hacerlo sería de 609.964.897,83 COP/año esto para subsanar los gastos propios del establecimiento y mantenimiento inicial y los servicios que se dejarían de percibir el entorno.

A escala de espacio público las categorías con mayor aporte de oxígeno y almacenamiento secuestro de carbono son los parques, seguidos por las zonas verdes. Esto ocurre porque los árboles de mayor tamaño se encuentran ubicados en estas áreas tal como se puede apreciar la Figura

*Tabla 5: Servicios ecosistémicos por emplazamiento*

Emplazamiento	Secuestro CO2 lb/año	Almacenamiento CO2 lb/año	Producción de O2 lb/año	Valor sustitución COP/año	Beneficios COP/año
Andén	1590,3	31175,4	4239.6	397192008,87	20508,31
Parque	13116,3	300747,2	34975,6	3448340553,15	169192,79
Cancha	1618,8	25.825,3	4318.6	432565661,14	20887.35
Zona verde	3111,6	33594,3	8295,6	705748819,43	40126,76
Monumento	76,1	594,6	203	14145656,52	980,93
<b>Total</b>	<b>19513,1</b>	<b>391936,8</b>	<b>52032,4</b>	<b>4997992699,11</b>	<b>251696,14</b>



*Figura 23: Distribución de individuos por lugar de emplazamiento*

### 7.1.3 Diseño de herramienta SIG

La siguiente herramienta se desarrolló con el fin de maximizar la gestión de los datos obtenidos en el inventario forestal, en la evaluación de riesgos y la valoración de servicios ecosistémicos, interactuar de una forma más dinámica con ellos y responder a las necesidades de gestión actuales.

Esta plataforma permite responder a consultas de tipo:

- Número de árboles que presentan alto riesgo en un área publica o barrio específico.
- Individuo que presenta mayor riesgo en un barrio o espacio público.
- Almacenamiento de carbono por individuo, espacio público o barrio.
- Árbol con mayor almacenamiento de carbono.
- Costo de reemplazar cada uno de los árboles o costo de reemplazar la totalidad de árboles que tienes enfermedades.
- Espacios públicos con árboles más vulnerables.

Al ingresar a la página el usuario se encontrará con la siguiente interfaz (Figura 24), esta alberga las capas de árboles muestreados, áreas de espacio público, barrios y limite municipal. En la esquina superior izquierda y la esquina inferior derecha se dispuso un menú de herramientas básicas, tales como capas, leyenda, zoom, inicio, navegación, localización, selección, medir, entre otras.

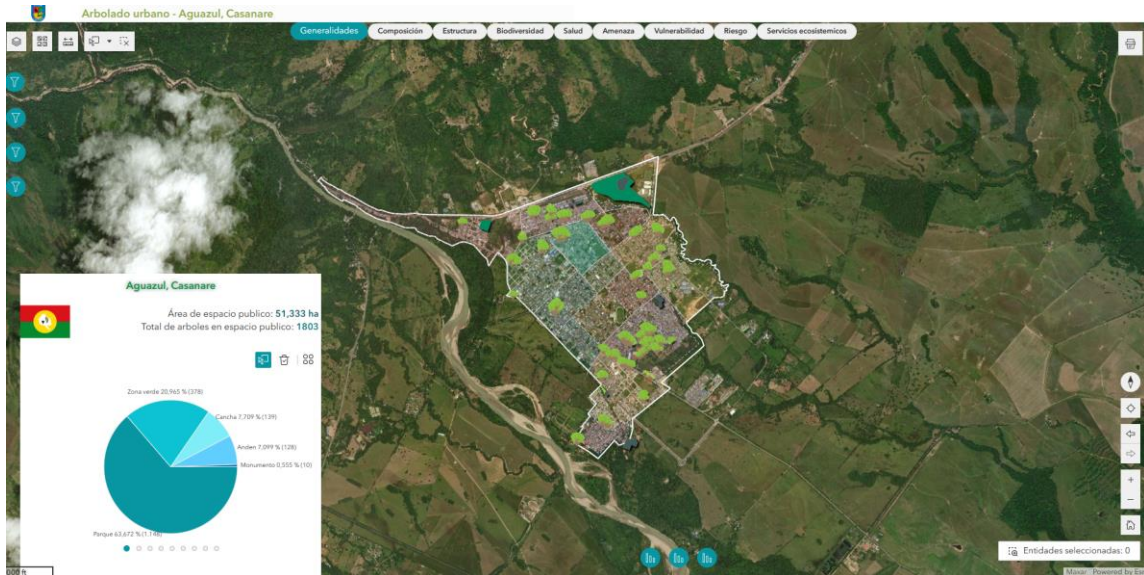


Figura 24: Interfaz herramienta SIG Arbolado Urbano

En la parte superior central está dispuesto el navegador de vistas para que el usuario pueda navegar entre las múltiples opciones que alberga. Al seleccionar cualquiera de las vistas se desplegará la información de interés en la sección ubicada en el margen inferior izquierdo.

Cada vista dispone de gráficos y estadísticas que, a criterio de las desarrolladoras de este proyecto, permiten analizar de manera sencilla el estado del arbolado del municipio.

En el margen superior izquierdo se encuentran dispuestos unos filtros predeterminados con los cuales el usuario podrá seleccionar los datos que desea y ver el análisis de sus resultados en la sección de la vista deseada.

Para explorar la página hacer clic en el siguiente enlace:

<https://experience.arcgis.com/experience/0f64807bff974702ad22ec0f8baff9a2/?draft=true>

Propuesta de manejo silvicultural para el arbolado urbano del municipio de Aguazul - Casanare, mediante la aplicación de tecnologías SIG

### **7.1.4 Propuesta de manejo silvicultural**

Para elaborar la propuesta de manejo silvicultural se tomó como base los individuos arbóreos del municipio que se encuentren en nivel de riesgo alto, se evaluó su situación y de ahí se definieron las recomendaciones de manejo.

El número de individuos que se encuentran en un nivel de riesgo alto son 94. Estos se distribuyen en 9 familias, 14 géneros y 14 especies, 58 tienen alturas menores a 10 metros, 31 están entre los 10 – 20m y solo 5 tienen una altura superior a 20m. La tabla 4 expone el número de individuos sanos y enfermos de cada una de las especies por estructura.

La propuesta de manejo silvicultural (ver Anexo D), es un documento tipo manual dividido en tres capítulos. El primero, “Aspectos generales”, describe el papel de la silvicultura urbana y la importancia de esta para manejar los árboles de la ciudad. El segundo, “Aspectos técnicos silviculturales”, expone las labores técnicas que deben realizarse dentro del contexto urbano para que los árboles se desarrollen correctamente y puedan cumplir satisfactoriamente con sus funciones. Por último, el capítulo “Arbolado Aguazul, Casanare”, describe las generalidades de cada una de las especies 51 especies presentes en el municipio y proporciona prácticas de manejo para las especies que, según el análisis de riesgo, están clasificadas como alto riesgo.

## 8. Conclusiones

La correcta planificación y estructuración de las labores de campo y de oficina realizadas en el marco de un inventario forestal son clave para la consecución de buenos resultados. Al igual que la elección de la herramienta de recolección de datos. El uso de ArcGIS Fiel Maps para estos fines fue sin duda un gran acierto, ya que es una herramienta práctica y sencilla que permite crear formularios adaptados a las necesidades del proyecto, capturar datos y almacenarlos en la web casi que en tiempo real y administrarlos fácilmente desde un dispositivo móvil.

La metodología empleada para valorar el nivel de riesgo fue fácil de aplicar y se acopló perfecto a las condiciones de la zona de estudio, sin embargo, no fue muy precisa al momento de especificar las afectaciones de tipo enfermedad o daño que presentan los individuos arbóreos, ya que solo discrimina la presencia o ausencia del malestar pero no profundiza en el tipo de afección, enfermedad o plaga, lo cual es vital al momento de proponer prácticas de manejo que busquen disminuir el número de individuos en alto riesgo.

Conocer los servicios ecosistémicos prestados por los individuos arbóreos, dentro del entorno urbano y a diferentes escalas, es de gran utilidad, para promover la gestión y ordenamiento forestal urbano consciente, con especies que no solo contribuyan a mejorar la prestación de los servicios ecosistémicos de regulación y sostenimiento, sino que incrementen la prestación de servicios de aprovisionamiento y culturales.

---

ArcGIS Experience Builder es un gran aliado al momento de crear aplicativos o servicios web de manera sencilla y práctica. Su interfaz intuitiva dispone de un sinnúmero de herramientas de análisis que pueden articularse con filtros y gráficos para aumentar la interacción del usuario con el contenido. Además, que permiten crear asociaciones dinámicas entre múltiples campos y responder así a una gran variedad de preguntas asociadas al territorio.

Las prácticas de manejo silvicultural son útiles para procurar el cuidado que necesitan los individuos arbóreos según las necesidades propias de su especie. Sin embargo, estas deben ser juiciosamente diseñadas a partir de un estudio profundo de la situación actual del individuo, fenología de la especie y sus patrones de crecimiento para garantizar que las labores de manejo que en ella se dispongan cumplan con los objetivos deseados.

## 9. Recomendaciones

Este proyecto se desarrolló solo en las áreas de espacio público del municipio, que abarca tan solo el 7% del total, lo ideal sería ejecutar este estudio en toda la extensión de la zona urbana para poder conocer y analizar el panorama completo del arbolado urbano.

El uso de los SIG como herramienta de articulación entre las partes vinculadas a la gestión del arbolado urbano debe implementarse en todos los municipios del país ya que promueven la participación ciudadana, garantizan la gobernanza de la vegetación arbórea y son un poderoso instrumento de planificación que permite a los tomadores de decisiones ordenar mejor el territorio.

Este proyecto es una propuesta útil y funcional para la medición de servicios ecosistémicos de forma local, se recomienda ampliar en presupuesto y recurso humano para apoyar este tipo de iniciativas.

## **10. Anexos**

### **A. Anexo: Anexo – Censo Forestal CD**

## **B. Anexo: Evidencia fotográfica**

### **“Levantamiento de inventario”**

**C. Anexo: Base de datos “Inventario  
arbolado urbano, espacio público, Aguazul –  
Casanare”**

## **D. Anexo: Propuesta de manejo silvicultural**

## 11. Referencias

- Becerra Granada, W. F., Bohórquez Castrillón, E. O., Garzon Riaño, J. R., & Agudelo Varela, M. (2019). *Impacto de la arborización en la calidad de vida de los habitantes de una población: caso Villavicencio* [Ingeniería civil]. Universidad Cooperativa de Colombia.
- Alcaldía municipal de Aguazul Casanare. (2022). *PBOT-Documento de diagnóstico*.
- Benito, G., & Palermo Arce, M. (2021). *El árbol en la ciudad. Manual de Arboricultura Urbana* (Facultad de agronomía, Ed.; Primera edición).
- Berland, A., Schwarz, K., Herrmann, D. L., & Hopton, M. E. (2015). How Environmental Justice Patterns are Shaped by Place: Terrain and Tree Canopy in Cincinnati, Ohio, USA. In *Cities and the Environment* (Vol. 8, Issue 1).
- Carbonnel, A., Aqueveque, C., & Carmona, M. (2017). Vulnerabilidad ambiental del arbolado urbano. Levantamiento georreferenciado comunal, Chile. *AUS*, 21, 4–10.  
<https://doi.org/10.4206/aus.2017.n21-02>
- Constitución Política de Colombia (1991).
- Dávila Martínez, F. J., Camacho Arranz, E., & Instituto Geográfico Nacional. (2012). Georreferenciación de documentos cartográficos para la gestión de archivos y cartotecas “Propuesta metodológica.” *Revista Catalana de Geografia*, 17(46).
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41, 393–408. [www.elsevier.com/locate/ecolecon](http://www.elsevier.com/locate/ecolecon)
- Decreto 531, Pub. L. No. 531 (2010).

- Decreto 2811 de 1974 Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (1974).
- Esri. (2022). *ArcGIS Experience Builder*.
- FAO. (2016). *Beneficio de los árboles urbanos*.  
<https://www.fao.org/documents/card/es?details=C0024S>
- Fernando, G., & Merchán, A. (2018). Guía silvicultural del arbolado urbano en Saravena - Arauca. In *Universidad Nacional Abierta y a Distancia*.
- Hardin, P. J., & Jensen, R. R. (2007). The effect of urban leaf area on summertime urban surface kinetic temperatures: A Terre Haute case study. *Urban Forestry and Urban Greening*, 6(2), 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2007.01.005>
- Hurley, P. T., & Emery, M. R. (2018). Locating provisioning ecosystem services in urban forests: Forageable woody species in New York City, USA. *Landscape and Urban Planning*, 170, 266–275. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.09.025>
- IBM. (2024, May 8). *IBM- Herramientas y Soluciones de Calidad de Datos*. IBM.  
<https://www.ibm.com/es-es/data-quality>
- IDEAM. (2018). *Manual de Campo Inventario Forestal Nacional Colombia*.  
<https://www.researchgate.net/publication/331555645>
- Jardín Botánico de la Universidad de Caldas. (2014). *Plan de manejo de la silvicultura urbana para la ciudad de Manizales*.
- Kolbina, O., Yagotinceva, N., Bogdanov, P., Istomin, E., & Vagizov, M. (2020a). The use of information and infocommunication technologies in the management of urban forests of St. Petersburg using geographic information systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 507(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/507/1/012013>  
Propuesta de manejo silvicultural para el arbolado urbano del municipio de Aguazul - Casanare, mediante la aplicación de tecnologías SIG

- Kolbina, O., Yagotinceva, N., Bogdanov, P., Istomin, E., & Vagizov, M. (2020b). The use of information and infocommunication technologies in the management of urban forests of St. Petersburg using geographic information systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 507(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/507/1/012013>
- Ley 99 de 1993 (1993).
- Ley 299 de 1996 (1996).
- Ley 1454 Normas Orgánicas Ordenamiento Territorial (2011).
- Martínez Soto, J., Montero y López Lena, M., & de la Roca Chiapas, J. M. (2016). Efectos psicoambientales de las áreas verdes en la salud mental. *Interamerican Journal of Psychology*, 50(2), 204–2014. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28447010004>
- Martínez Trinidad, T., & Islas Rodríguez, L. (2008). Aplicación de los sistemas de información geográfica en el manejo de arbolado urbano. *ResearchGate- Arbolama, Vol.2*, 11–22.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being : synthesis*. Island Press.
- Millennium Ecosystem Assessment (Program). (2005). *Ecosystems and human well-being : synthesis*. Island Press.
- Molina Prieto, L. F., & Acosta Hernández, C. F. (2018). Orígenes y evolución de las arborizaciones urbanas en América Latina con énfasis en Bogotá y Medellín. Formas urbanas colonial, republicana y protomoderna. *Gestión y Ambiente*, 21(2), 276–290. <https://doi.org/10.15446/ga.v21n2.74906>
- Moraes Amaral, R. D. de A., Morato, R. G., Mariano, R. S., & Ferreira, J. M. R. (2021a). Urban forest management tools. *Revista de Gestao Ambiental e Sustentabilidade*, 10(1). <https://doi.org/10.5585/GEAS.V10I1.18131>
- Propuesta de manejo silvicultural para el arbolado urbano del municipio de Aguazul - Casanare, mediante la aplicación de tecnologías SIG

- Moraes Amaral, R. D. de A., Morato, R. G., Mariano, R. S., & Ferreira, J. M. R. (2021b). Urban forest management tools. *Revista de Gestao Ambiental e Sustentabilidade*, 10(1).  
<https://doi.org/10.5585/GEAS.V10I1.18131>
- Moreno Hurtado, F., & Hoyos Estrada, C. H. (2015). *Guía para el manejo del arbolado urbano en el Valle de aburrá*.
- ONU Habitat. (2020). *La Nueva Agenda Urbana ilustrada*. ONU-Habitat.
- ONU-Habitat. (2019, May). *Siete grandes beneficios de los árboles urbanos*.  
<https://onuhabitat.org.mx/index.php/siete-grandes-beneficios-de-los-arboles-urbanos#:~:text=Los%20%C3%A1rboles%20grandes%20son%20excelentes,2%20y%208%20grados%20cent%C3%ADgrados>.
- Ordenanza 019 (2019).
- Ordóñez, C., Threlfall, C. G., Kendal, D., Hochuli, D. F., Davern, M., Fuller, R. A., van der Ree, R., & Livesley, S. J. (2019). Urban forest governance and decision-making: A systematic review and synthesis of the perspectives of municipal managers. In *Landscape and Urban Planning* (Vol. 189, pp. 166–180). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.04.020>
- Pinzón Saavedra, S. A., & Gómez Porras, Á. M. (2023). *Arbolado urbano en Colombia, determinación de las necesidades normativas para su gestión* [Maestría en Derecho y Gestión Ambiental]. Universidad del Rosario.
- Rangel-CH. Orlando J. (2023). La Riqueza de las plantas con flores de Colombia\_ Caldasia. *Caldasía- Revista Científica de La Universidad Nacional de Colombia*.
- Resolucion-1912-de-2017, Minambiente 1 (2017).

- Rodriguez Bormioli; Nicolas, D. F. L. A. C. E., & Craig, E. (2017). Generación de Cartografía Temática del Arbolado Urbano mediante el uso de SIG. *Revista Del Departamento de Geografía*, Vol.5(2346–8734), 26–53. <https://www.researchgate.net/publication/344960056>
- Roeland, S., Moretti, M., Amorim, J. H., Branquinho, C., Fares, S., Morelli, F., Niinemets, Ü., Paoletti, E., Pinho, P., Sgrigna, G., Stojanovski, V., Tiwary, A., Sicard, P., & Calfapietra, C. (2019). Towards an integrative approach to evaluate the environmental ecosystem services provided by urban forest. *Journal of Forestry Research*, 30(6), 1981–1996. <https://doi.org/10.1007/s11676-019-00916-x>
- Schwaab, J., Meier, R., Mussetti, G., Seneviratne, S., Bürgi, C., & Davin, E. L. (2021). The role of urban trees in reducing land surface temperatures in European cities. *Nature Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26768-w>
- Secretaría de Medio Ambiente de Medellín. (2015). *Manual de Silvicultura urbana para Medellín. Gestión, planeación y manejo de la infraestructura verde* (Fondo Editorial Jardín Botánico de Medellín, Ed.; 2nd ed.).
- Tovar Corzo, G. (2006). Manejo del arbolado urbano en Bogotá. *Colombia Forestal*, 9(19), 187–205.
- USDA, S. forestal de los E. U. de A. (2017, January 24). *i-Tree Eco Manual del usuario*. I-Tree Eco Manual Del Usuario. [www.itreetools.org](http://www.itreetools.org)
- Weisz Restrepo, J. F. (2020). *El arbolado urbano como sujeto de derechos: Un elemento para la creación de un proyecto para la gobernanza ambiental en la localidad de Teusaquillo, Bogotá 2020*. Pontificia Universidad Javeriana.
- WWF. (2018, March 6). *Glosario ambiental: Servicios ecosis... ¿qué?* <https://www.wwf.org.co/?324210/Glosario-ambiental-Servicios-ecosis-que>

---

Xiao, Q., & Mcpherson, E. G. (2002). *Rainfall interception by Santa Monica 's municipal urban forest*. 6, 291–302.