CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 003 DE 2023

Realización del censo del arbolado urbano del Distrito de Cartagena de Indias con tecnología LiDAR y levantamiento de información cartográfica básica y ortofotomosaico para los estudios a detalle de las determinantes ambientales en el perímetro urbano del Distrito de Cartagena de Indias

CENSO DEL ARBOLADO URBANO CON TECNOLOGÍA LIDAR

ESTABLECIMIENTO PÚBLICO AMBIENTAL DE CARTAGENA – EPA
UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS – UD
BOGOTÁ, D.C.
2023



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Acreditación Institucional en Alta Calidad

extensión
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

ESTABLECIMIENTO PÚBLICO AMBIENTAL
EPA
CARTAGENA

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

CIA 003 DE 2023

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 003 DE 2023, CELEBRADO ENTRE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS – UDFJC Y EL ESTABLECIMIENTO PÚBLICO AMBIENTAL – EPA CARTAGENA

Directora EPA Cartagena	Alicia Terril Fuentes
Supervisor EPA Cartagena	Roberto Junior González Herrera
Director IDEXUD	Roberto Ferro Escobar
Supervisor IDEXUD	Omar Francisco Patiño Silva

Equipo de trabajo CIA 003 de 2023

Director General	Ing. Jaime Eddy Ussa Garzón
Coordinador	Ing. Luis Hernando Castillo Hernández
Equipo profesional	Ing. David Leonardo Valbuena Gaviria
	Ing. Ardikary Ariza Buitrago
	Ing. Karen Eliana Parra Forero
	Ing. Diana Lorena Millán Orduz
	Ing. Juan David Sebastián Osorio Sánchez
	Ing. Carmen Emilce Cáceres Mesa
Equipo de apoyo	Tec. Diana Valentina Costas Álvarez
	Ing. Yubeli Catherine Ortiz Rincón
	Johan Andrey Garzón Perdomo

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 8

2. ALCANCE 10

3. ÁREA DE ESTUDIO 12

4. MARCO LEGAL Y ENTIDADES DE CONTROL LOCAL 16

4.1 DISTRITO DE CARTAGENA DE INDIAS 16

4.2 DISTRITO CAPITAL BOGOTÁ 16
4.2.1 SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL ARBOLADO URBANO DE BOGOTÁ D.C., SIGAU 16
4.2.2 MARCO LEGAL DE BOGOTÁ 16

4.3 MEDELLÍN 17
4.3.1 SISTEMA DE ÁRBOL URBANO DE MEDELLÍN Y EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. 17

4.4 MARCO LEGAL MEDELLÍN 17

5. DEFINICIONES 18

6. ANTECEDENTES CENSOS DE ARBOLADO URBANO 23

6.1 INTERNACIONALES 23
6.1.1 MÉXICO 23
6.1.2 ARGENTINA 24
6.1.3 ECUADOR 24

6.2 NACIONAL 24
6.2.1 CENSO DEL ARBOLADO URBANO BOGOTÁ D.C, - CAU 2005 - 2007 24
6.2.2 CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA (CORTOLIMA) 25
6.2.3 CENSO ARBÓREO DE SANTIAGO DE CALI 25
6.2.4 BARRANQUILLA 25
6.2.5 SISTEMA ÁRBOL URBANO MEDELLIN 26

7. UNIVERSOS DE ESTUDIO DEL DISTRITO DE CARTAGENA 27

7.1 ARBOLADO URBANO 27
7.1.1 Árbol aislado 28
7.1.2 Árbol entrelazado 28

7.2 BOSQUE URBANO DE CARTAGENA 29

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

7.2.1 Manglar 30
7.2.2 Bosque de galería y ripario 30
7.2.3 Vegetación secundaria baja 30

8. METODOLOGÍA DEL CENSO DEL ARBOLADO URBANO 31

8.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES 31

8.2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN 31

8.3 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DE VUELO 32
8.3.1 LiDAR 32
8.3.2 ORTOFOTO 36

8.4 ALGORITMO DE CLASIFICACIÓN DE ÁRBOLES 39
8.4.1 PRIMERA FASE -SELECCIÓN DE RED NEURONAL 39
8.4.2 SEGUNDA FASE-ESTABLECIMIENTO DE UN PRE-MUESTREO PARA ENTRENAMIENTO DE TESELAS 40
8.4.3 TERCERA FASE- ETIQUETADO DE ÁRBOLES PARA INGRESAR AL MODELO 42
8.4.4 CUARTA FASE- ADAPTACIÓN DEL MODELO RNNC PARA IDENTIFICACIÓN DE ÁRBOLES 42
8.4.5 QUINTA FASE-VERIFICACIÓN POR PRECISIÓN-RECALL Y F1 SCORE 45

8.5 UBICACIÓN GEOREFERENCIADA DEL CENSO DE ARBOLADO URBANO 45
8.5.1 SISTEMA DE CODIFICACIÓN 46
8.5.2 POSICIONAMIENTO (X, Y, Z) 48
8.5.3 ALTURA DEL ÁRBOL (H) 48
8.5.4 ARBOLADO URBANO 48
8.5.5 BOSQUE URBANO 51

8.6 CÁLCULO DE INDICADORES DEL CENSO DE ARBOLADO URBANO 52
8.6.1 USO DE SUELO POT 53
8.6.2 LOCALIDADES 58
8.6.3 UNIDADES COMUNERAS DE GOBIERNO 62
8.6.4 EMPLAZAMIENTOS 66

8.7 VALIDACIÓN DEL CENSO FORESTAL EN CAMPO 70
8.7.1 ÁRBOL URBANO 70
8.7.2 BOSQUE URBANO 71

9. BIBLIOGRAFÍA 72

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

CIA 003 DE 2023

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.Determinación del área preliminar de los tipos de vegetación de Cartagena *30*
Tabla 2. Número de árboles según el uso del suelo. *53*
Tabla 3. Bosques urbanos según usos del suelo POT 2001. *56*
Tabla 4. Número de árboles por localidad. *58*
Tabla 5. Bosque urbano por localidad. *60*
Tabla 6. Número de árboles por unidad comunera de gobierno. *62*
Tabla 7.Bosque urbano por unidad comunera de gobierno. *64*
Tabla 8. Número de árboles por emplazamiento. *66*
Tabla 9. Índice de bosque urbano por emplazamiento. *68*
Tabla 10.Comportamiento de las alturas en árbol urbano *70*
Tabla 11.Comportamiento de alturas en bosque urbano *71*

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

CIA 003 DE 2023

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Perímetro urbano del Distrito de Cartagena de Indias según POT vigente del año 2001 13
Figura 2.Polígonos Jurisdicción EPA Cartagena y Limite de Vuelo LIDAR. 14
Figura 3.Perímetro urbano del Distrito de Cartagena de Indias según CIA 003 15
Figura 4.Clasificación del arbolado urbano de Cartagena 27
Figura 5.Nube de puntos LiDAR 33
Figura 6.Modelo digital de terreno MDT 34
Figura 7.Modelo digital de superficie MDS 35
Figura 8.Ortofoto mosaico del distrito de Cartagena 37
Figura 9.Ortofoto mosaico con NIR del distrito de Cartagena 38
Figura 10.Etapas del algoritmo de identificación de árboles 39
Figura 11. Teselas de entrenamiento de modelo 41
Figura 12. Ejemplo de etiquetado de árboles para ingresar al modelo 42
Figura 13. Prueba del modelo YOLOV7 con el dataset entrenado 43
Figura 14. Identificación preliminar de árboles urbanos. 44
Figura 15. Validación del Modelo Detection Tree 45
Figura 16. Censo de árbol urbano 49
Figura 17. Histograma de alturas para arboles 50
Figura 18. Histograma de alturas para palmas 50
Figura 19.Bosque urbano del Distrito de Cartagena 52
Figura 20. Árboles por usos del suelo POT vigente año 2001. 55
Figura 21. Bosque urbano por usos del suelo POT 2001. 57
Figura 22. Número de árboles por localidades 59
Figura 23. Bosque urbano por localidades. 61
Figura 24. Número de árboles por Unidad comunera de gobierno. 63
Figura 25. Índice de bosque urbano por Unidad comunera de gobierno. 65
Figura 26. Emplazamientos del Distrito de Cartagena. 67
Figura 27. Bosque urbano por otros emplazamientos 69

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

1. INTRODUCCIÓN

El censo del arbolado urbano es una actividad estadística que hace referencia a un levantamiento de información asociada a la población de árboles en las ciudades o espacios urbanos, por medio de esta herramienta se recogen datos de localización y características necesarias para establecer el estado de una población arbórea. La idea final de esta labor es conseguir un acumulado de datos que terminen en estadísticas sobre distribución, estructura y generalidades que finalmente serán base para actividades de gestión o manejo de ese arbolado. (DANE & JBB, 2006)

El propósito principal del Censo del Arbolado Urbano del Distrito de Cartagena de Indias fue establecer la georreferenciación con instrumentos de alta precisión de los árboles urbanos dentro del área urbana del distrito (Figura 3), generando información referente a las coordenadas X, Y, Z y la altura de los individuos, garantizando una calidad estadística de la información. Para ello, el arbolado del Distrito fue categorizado bajo dos universos de estudio denominados: 1) árboles urbanos individuales y 2) bosque urbano que comprende zonas verdes localizadas en las áreas urbanas. De esta forma, el censo permitió determinar la cantidad y la distribución de los árboles dentro del entorno urbano, como una parte fundamental de la infraestructura verde de una ciudad, además de suponer un aporte en la construcción de indicadores de sostenibilidad que apunten a alcanzar el ODS 11: Ciudades y asentamientos sostenibles, de acuerdo con lo establecido en la Guía metodológica para calificar el potencial de sostenibilidad de ciudades en Colombia (IDEAM & UDFJC, 2023), al contar con el censo, el Distrito tendrá información clave para la calificación del indicador denominado Espacio público efectivo (EPE), lo que permite que la ciudad genere acciones encaminadas a la mejora de la calidad ambiental.

Para su adecuado manejo, el censo se compone de un sistema de codificación único para cada árbol, y un diseño de muestreo que permitió ajustar la información espacial, reduciendo así la incertidumbre en la identificación de los árboles mediante un gemelo digital basado en algoritmos específicos que tienen como insumo la información LiDAR Y fotogramétrica,

La tecnología LiDAR, gracias a su capacidad para capturar datos tridimensionales de alta precisión mediante láseres pulsados, se ha convertido en una herramienta revolucionaria para la identificación y el mapeo de árboles en entornos urbanos y forestales, esto gracias a la meticulosa recopilación de información geoespacial y la generación de modelos digitales de elevación, LiDAR brinda una visión detallada de la topografía y la estructura del terreno, lo que resulta esencial para la identificación y el análisis de la ubicación, el tamaño y la salud de los árboles. Este avance tecnológico no solo simplifica y agiliza el proceso de censo y monitoreo del arbolado urbano, sino que también abre nuevas perspectivas para la gestión sostenible de los recursos forestales, la conservación de la biodiversidad y la planificación urbana basada en datos precisos y actualizados.

Además de su capacidad para identificar árboles con precisión, la tecnología LiDAR ofrece ventajas topográficas excepcionales al proporcionar modelos digitales de terreno (MDT), de superficie (MDS) y de superficie normalizado (MDSn) de alta resolución, estos modelos, generados a partir de datos LiDAR, son ideales para los estudios a detalle de las determinantes ambientales en áreas urbanas. La precisión de estos modelos brinda información detallada sobre la topografía del terreno, la pendiente, la elevación y otros aspectos geomorfológicos del entorno, lo que es esencial para comprender cómo influyen los factores ambientales en la distribución, así como en la gestión de recursos hídricos y la evaluación de riesgos geológicos.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

En cuanto a la información cartográfica, se incluyen los datos de alta precisión que comprenden curvas de nivel trazadas con intervalos de 10 cm, estos datos permiten una representación altamente detallada de la topografía de la zona urbana, lo que resulta fundamental para comprender la morfología del terreno, además, se generarán modelos digitales de terreno, superficie y superficie normalizados, todos ellos con una resolución espacial de 1 metro, estos modelos proporcionarán una representación tridimensional precisa y detallada del entorno, lo que será esencial para los estudios a detalle de las determinantes ambientales en el perímetro urbano del Distrito de Cartagena de Indias. La alta resolución de estos datos cartográficos garantizará la precisión necesaria para una planificación urbana informada y una gestión ambiental efectiva en esta área en constante evolución.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

2. ALCANCE

El Censo del Arbolado Urbano del Distrito de Cartagena de Indias responde a las necesidades del Establecimiento Público Ambiental de Cartagena EPA CARTAGENA, como máxima autoridad ambiental y con en el cumplimiento de su función de "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"; incluidas dentro de su Plan de acción 2020-2023 de los proyectos de Inversión denominados "SISTEMA DE ARBOLADO URBANO" y " ORDENAMIENTO PARA EL DESARROLLO AMBIENTAL EN EL ÁREA DE JURISDICCIÓN DE EPA CARTAGENA" los cuales se encuentran enmarcados en el Plan de Desarrollo Distrital 2020 – 2023 "Salvemos Juntos a Cartagena", Línea Estratégica SALVEMOS JUNTOS NUESTRO PATRIMONIO NATURAL; Programas RECUPERAR Y RESTAURAR NUESTRAS ÁREAS NATURALES (BOSQUES, BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS) y PROGRAMA ORDENAMIENTO AMBIENTAL Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL. (MITIGACIÓN Y GESTIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL).

Por otra parte, en el Programa de Gobierno Salvemos Juntos Cartagena 2020-2023,se listan los parámetros, objetivos e indicadores para cada una de las metas de los programas del PGIRS, en el aspecto de Corte de césped y poda de árboles, el parámetro de «Catastro de árboles ubicados en vías y áreas públicas que deben ser objeto de poda», en el resultado de la línea base se describe que «No existe catastro del arbolado urbano del distrito»; por lo anterior, el PGIRS se fija como objetivo «Aumentar la cobertura de la prestación de servicio de corte de césped y poda de árboles en áreas públicas», fijándose como meta «Un (1) catastro de árboles en la ciudad realizado», catastro afín con el proyecto del Sistema de Arbolado Urbano, y el Sistema de Información para la Gestión Silvicultural del Arbolado Urbano, incorporado en el programa del Plan de Acción 2020-2023 de EPA Cartagena titulado Recuperar y Restaurar Nuestras Áreas Naturales (Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos) donde se evidenció la imperante necesidad de la obtención del Censo del Arbolado Urbano y contar con la ubicación específica de cada individuo del arbolado urbano censado;

El presente documento responde al producto denominado "Censo del arbolado urbano de la ciudad de Cartagena de Indias con la determinación espacial de árboles y palmas del perímetro urbano de la ciudad de Cartagena de Indias asociado a la información levantada por la Alcaldía en campo a través de los censos realizados en años anteriores y corroboración en campo con coordenadas X,Y,Z y altura." del Contrato Interadministrativo 003 de 2023 que tiene por objeto *"Realización del censo del arbolado urbano del Distrito de Cartagena de Indias con tecnología LiDAR y levantamiento de información cartográfica básica y ortofotomosaico para los estudios a detalle de las determinantes ambientales en el perímetro urbano del Distrito de Cartagena de Indias".*

El censo llevado a cabo, se enfoca específicamente en lo que conceptualmente se conoce como "árbol urbano", centrándose en la identificación, ubicación y evaluación de árboles individuales dentro del perímetro urbano. En este contexto, es crucial señalar que las áreas de bosques urbanos, aunque de gran importancia ecológica, no formarán parte de este censo. Estas áreas requieren un enfoque más especializado y un inventario forestal completo debido a su extensión y diversidad. Para una comprensión integral, en este capítulo se presentan tanto las definiciones de "bosque urbano" como de "árbol urbano", delimitando así el alcance específico del censo y proporcionando una base sólida para la gestión de los recursos forestales en el perímetro urbano de Cartagena de Indias. El censo contiene la información asociada a árboles y palmas del perímetro urbano del Distrito en cuanto a su ubicación y altura con base en la información LiDAR y GNSS-RTK tomando en

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

consideración el alcance contractual, en el cual se establecen los datos de posicionamiento como paso inicial en la construcción del sistema de gestión del arbolado urbano.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

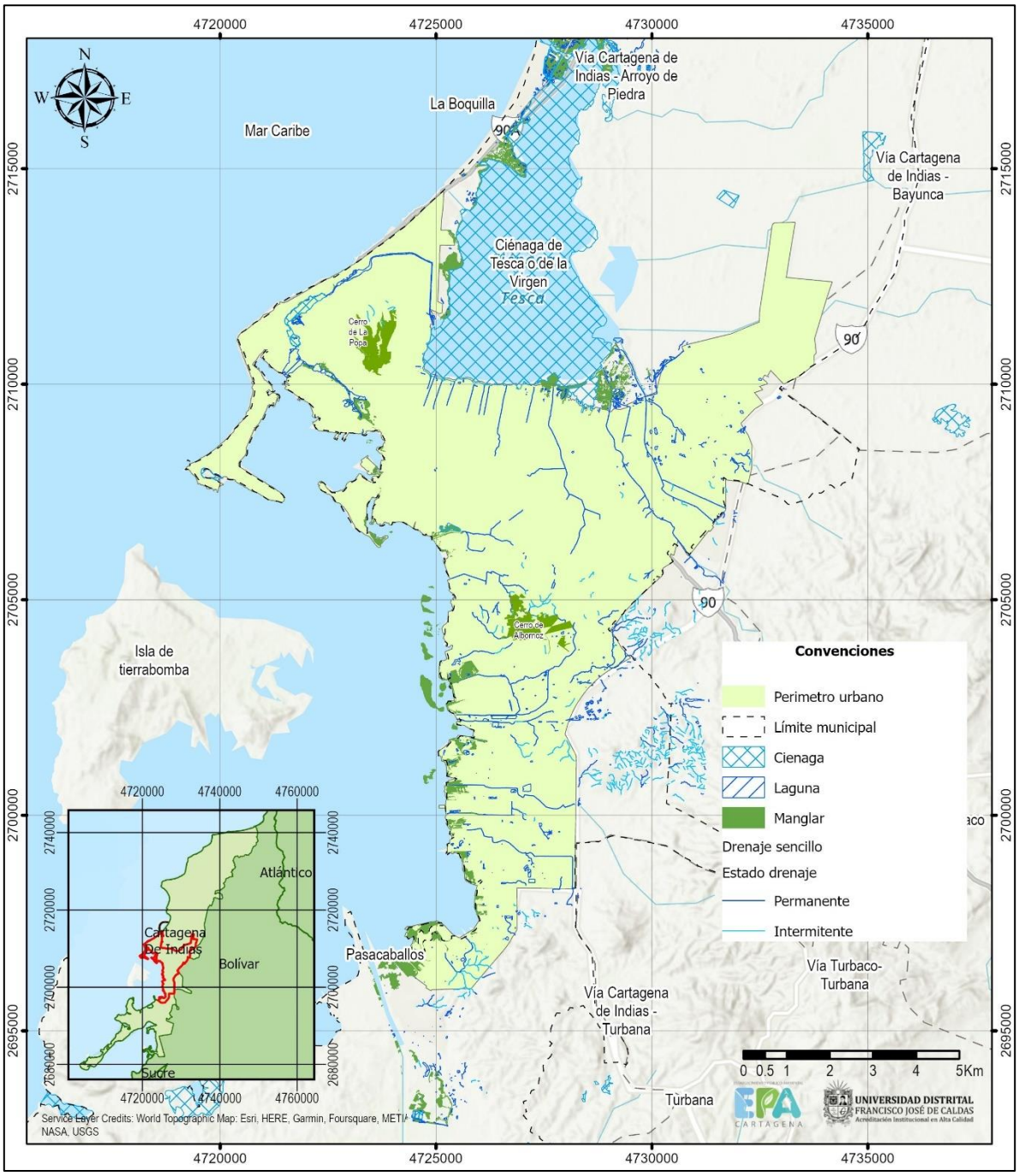
3. ÁREA DE ESTUDIO

El Distrito de Cartagena de Indias, localizado en el departamento de Bolívar, Colombia, se encuentra subdividido en 3 localidades y quince unidades comuneras de gobierno. cada una de las cuales engloba una variedad de barrios y zonas urbanas. Esta diversidad geográfica y poblacional, configura un escenario complejo para el censo de arbolado urbano en la ciudad. Desde los distritos históricos en la Localidad 1 hasta las áreas costeras en la Localidad 2, pasando por las zonas industriales en la Localidad 3 y los barrios residenciales en las restantes comunas, el arbolado urbano de Cartagena desempeña un papel fundamental en la calidad de vida y el entorno ambiental de sus habitantes.

Mediante la revisión de la delimitación catastral con la que cuenta el Distrito de Cartagena de Indias, se identificó el perímetro urbano, conforme con lo establecido en el POT vigente del año 2001, de 8.278,20ha (Figura 1).

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Figura 1.Perímetro urbano del Distrito de Cartagena de Indias según POT vigente del año 2001

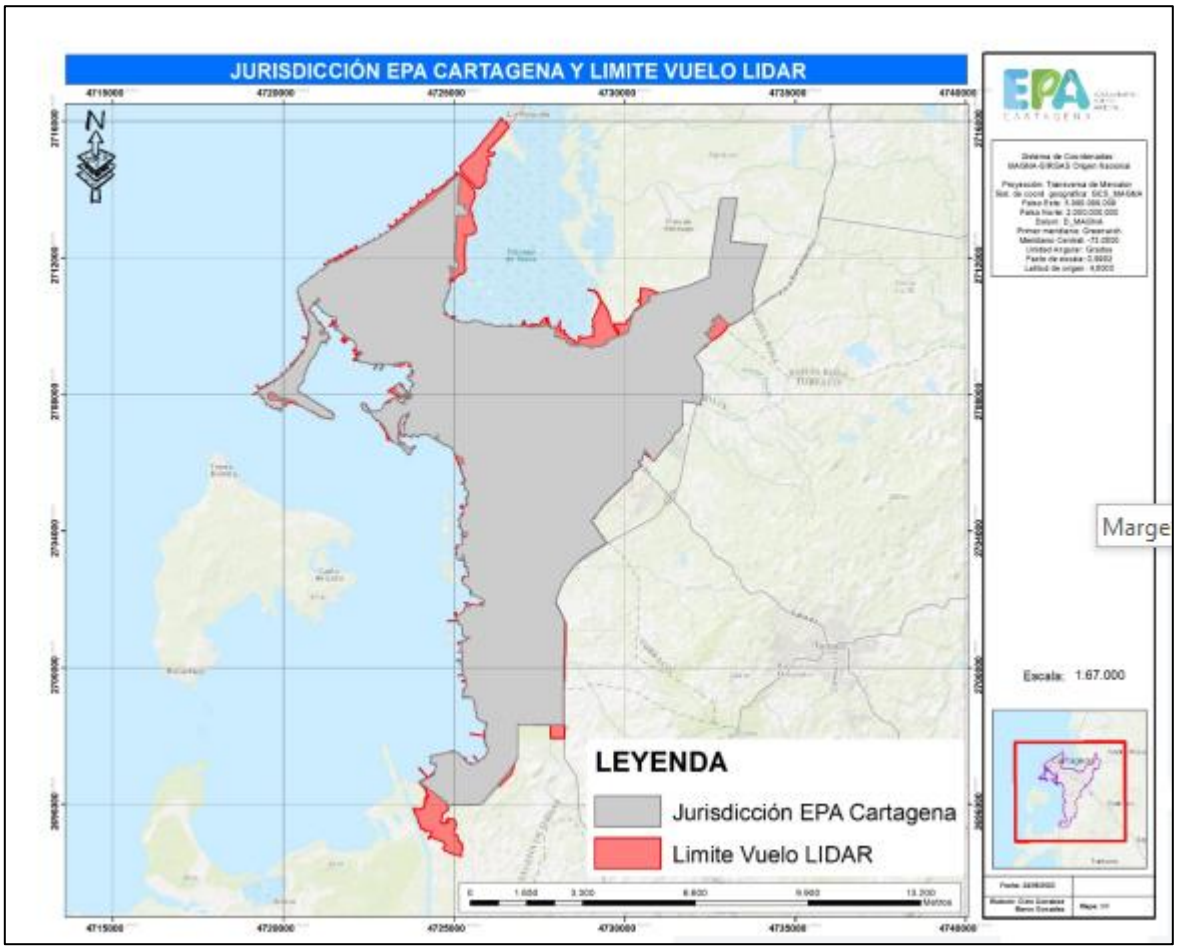


Fuente: Elaboración propia.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Por otro lado, en el marco de ejecución del CIA 003 de 2023, el Establecimiento Público Ambiental de Cartagena (EPA) por medio del oficio EPA-OFI-004668-2023 del 25 de agosto de 2023 suministró a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, dos polígonos: el primero con un área de 8.281 hectáreas correspondiente al "limite jurisdicción EPA Cartagena – limite procesamiento de datos, y el segundo de 8.858 hectáreas denominado "Limite área de interés- área de vuelo" (Figura 2).

Figura 2.Polígonos Jurisdicción EPA Cartagena y Limite de Vuelo LIDAR.

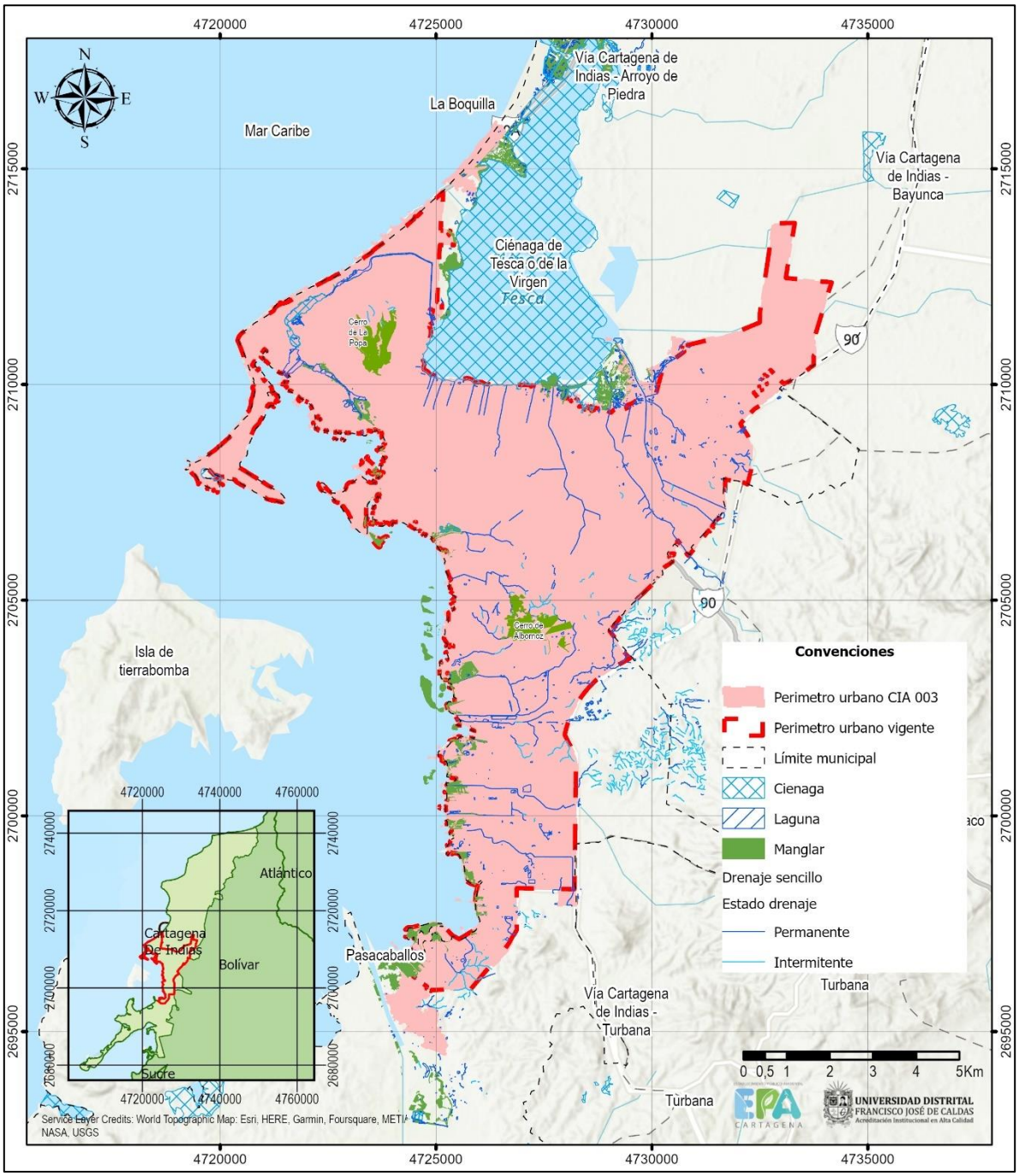


Fuente: EPA Cartagena.

Partiendo de los polígonos establecidos y el perímetro urbano vigente, sumado a lo concretado en el comité técnico del 25 de agosto del año 2023, y mediante el análisis cartográfico el equipo técnico de la universidad propuso un área de vuelo y procesamiento de información de 8.710,55 hectáreas esta se puede observar en la Figura 3.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Figura 3.Perímetro urbano del Distrito de Cartagena de Indias según CIA 003



Fuente: Elaboración propia.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

4. MARCO LEGAL Y ENTIDADES DE CONTROL LOCAL

Para establecer una definición que permitiera realizar una clasificación adecuada del arbolado urbano de la ciudad de Cartagena, se realizó la revisión de lo establecido por diferentes entidades a nivel nacional las cuales han adelantado experiencias de censos de arbolado urbano. A continuación, son presentadas las diferentes experiencias, así como el marco legal que regula la actividad en el país.

4.1 DISTRITO DE CARTAGENA DE INDIAS

La ciudad de Cartagena cuenta en su marco legal con el Decreto 0274 de 2017: Por medio del cual se adopta el Plan de Silvicultura Urbana para Cartagena de Indias D.T y C, y se toman otras determinaciones.

4.2 DISTRITO CAPITAL BOGOTÁ

La Secretaría de Ambiente de Bogotá es la entidad encargada de gestionar y promover políticas, programas y proyectos relacionados con la protección, conservación y uso sostenible del medio ambiente en la ciudad de Bogotá, Colombia. Sus funciones abarcan desde la regulación y control de actividades que puedan impactar el entorno natural hasta la promoción de prácticas sostenibles y la educación ambiental. En el arbolado urbano, esta entidad juega un papel importante al establecer normativas para la plantación y mantenimiento de árboles en la ciudad, fomentando así la contribución de los árboles al equilibrio ecológico, la calidad del aire y la estética urbana (Jardín Botánico de Bogotá, 2023).

4.2.1 SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL ARBOLADO URBANO DE BOGOTÁ D.C., SIGAU

El SIGAU es una plataforma de información que reúne datos relacionados con el arbolado urbano en la ciudad de Bogotá. Este sistema gestionado por el jardín Botánico, facilita la recolección, análisis y gestión de información sobre la ubicación, salud, especies y características de los árboles en la urbe. Aporta al arbolado urbano al proporcionar a las autoridades y ciudadanos datos precisos para la toma de decisiones informadas en cuanto a la plantación, cuidado y mantenimiento de los árboles. Esto contribuye a un entorno más saludable, a la reducción de la contaminación, al mejoramiento estético y a la planificación urbana sostenible (Jardín Botánico de Bogotá, 2023).

4.2.2 MARCO LEGAL DE BOGOTÁ

Decreto 531 de 2010: Por el cual se reglamenta la silvicultura urbana, zonas verdes y la jardinería en Bogotá y se definen las responsabilidades de las Entidades Distritales en relación con el tema y se dictan otras disposiciones.

Decreto 383 de 2018: Por medio del cual se modifica y adiciona el Decreto Distrital 531 de 2010, y se toman otras determinaciones.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

4.3 MEDELLÍN

La Secretaría de Medio Ambiente de Medellín es la entidad encargada de promover políticas y acciones relacionadas con la protección y conservación del medio ambiente en la ciudad de Medellín, Colombia. Esta entidad trabaja en la implementación de estrategias para preservar los recursos naturales, mejorar la calidad del aire y el agua, y promover la sostenibilidad ambiental. En el ámbito del arbolado urbano, la Secretaría desempeña un rol fundamental al regular la plantación y mantenimiento de árboles en la ciudad, fomentando la biodiversidad urbana, la absorción de CO_2 y la creación de espacios verdes para la comunidad (Alcaldía de Medellín, 2023).

4.3.1 SISTEMA DE ÁRBOL URBANO DE MEDELLÍN Y EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ.

Este sistema es una iniciativa que busca gestionar de manera integral el arbolado urbano en Medellín y el área metropolitana del Valle de Aburrá. A través de la recolección de datos, la planificación estratégica y la participación ciudadana, se busca aumentar la cobertura arbórea, mejorar la salud de los árboles existentes y promover la participación de la comunidad en la gestión y cuidado de los espacios verdes urbanos. Este sistema contribuye al bienestar de los habitantes, a la mitigación de la contaminación y al embellecimiento de la ciudad, además de proporcionar beneficios ambientales y sociales a largo plazo (Alcaldía de Medellín, 2023).

4.4 MARCO LEGAL MEDELLÍN

Decreto 817 de 2008: Por medio del cual se establecen los Lineamientos de Política en Silvicultura Urbana y Paisajismo para el Municipio de Medellín, se reglamenta el Comité de Silvicultura Urbana y Paisajismo, y se toman otras determinaciones.

Decreto 0895 de 2018: Por medio del cual se adopta el Manual de Silvicultura Urbana para Medellín – Gestión, Planeación y Manejo de la Infraestructura Verde y se dictan otras disposiciones.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

5. DEFINICIONES

A continuación, se exponen las definiciones del decreto 531 de 2010 (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2010) para el sistema de arbolado urbano de la ciudad:

Anillado: Procedimiento consistente en el corte de una sección circular realizado en la corteza del árbol con el fin de interrumpir el flujo natural de nutrientes y producir la muerte lenta del espécimen. Para efectos sancionatorios el anillado será considerado como una tala no autorizada.

Aprovechamiento: De forma complementaria al Decreto 1791 de 1996 y los conceptos de aprovechamiento forestal y sostenible, el presente documento define el aprovechamiento del arbolado aislado como el manejo racional del recurso forestal de la ciudad, maximizando los servicios ambientales que presta al garantizar la persistencia del mismo y mitigando los factores de amenaza o riesgo a sus habitantes.

Árbol: Planta leñosa con un tronco principal que sostiene un follaje denominado copa, de arquitectura según la especie, cuya altura en estado adulto no sea inferior a tres (3) metros, medidos desde el nivel del suelo.

Arbolado urbano: Conjunto de plantas de las especies correspondientes a los biotipos árbol, arbusto, palma o helecho arborescente, ubicados en suelo urbano.

Arborización: Conjunto de actividades requeridas para el adecuado diseño, plantación y establecimiento de árboles en el medio urbano.

Arbusto: Vegetal leñoso con ramas desde la base.

Arbolado joven: Ejemplar vegetal plantado con altura superior a uno punto (1,5) metros de altura que requiere mantenimiento por un periodo mínimo de tres años para lograr su adaptación.

Atención Integral: Conjunto de prácticas técnicas de mantenimiento y tratamientos especializados sobre los biotipos establecidos en el presente decreto, tendientes a recuperar o mejorar las condiciones físicas y sanitarias del arbolado urbano.

Biotipo: Forma típica que puede considerarse modelo de su especie, variedad o raza.

Bloqueo y Traslado: Actividad de manejo cuyo objeto es reubicar una planta o biotipo.

Brinzal: Conjunto de árboles jóvenes con altura inferior a 1.5 m y sin un diámetro mínimo establecido.

Cerca viva: Arreglo lineal de árboles, sin limitar el paso, ni la visibilidad con fines productivos

Censo: Es el conteo de todos y cada uno de los elementos de una población o de un universo, en un lugar determinado y en un tiempo dado.

Cobertura vegetal: Son las plantas que cubren la superficie del suelo urbano, comprendiendo una amplia gama de biomasas con diferentes características fisonómicas y ambientales.

D.A.P.: Diámetro del fuste tomado a la altura del pecho, se estima en 1.30 metros del nivel del piso.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Descope: Práctica silvicultural en la que se elimina una sección del fuste principal sin importar la altura. Para efectos sancionatorios el descope será considerado como una tala no autorizada.

Deterioro del arbolado urbano: Prácticas realizadas sobre el arbolado urbano, que afectan su estabilidad física, su función y su desarrollo fisiológico; que pueden conducir a su muerte.

Diseño de arborización, zonas verdes y jardinería: Documento que describe la composición y distribución del material vegetal, así como su localización exacta en el proyecto paisajístico; debe contener la representación gráfica de la volumetría arbórea (planta y perfil, en estado adulto), su función urbana, relaciones espaciales y visuales en el contexto de la zona a intervenir.

Emplazamiento: Es el nombre otorgado al sitio de siembra donde se ubica el árbol urbano, está dividido en siete (7) sistemas, así: sistema hídrico, lúdico, de protección, de circulación urbana, de áreas degradadas, de áreas de disposición y de franjas de servidumbre) que a su vez se subdividen en tipos especiales de emplazamiento, así: Rondas de ríos, parques de barrio, ciclorutas, areneras, áreas de disposición de basuras, entre otras.

Espacio público: Conjunto de inmuebles públicos y los elementos arquitectónicos y naturales de los inmuebles privados, destinados por su naturaleza, por su uso o afectación, a la satisfacción de necesidades urbanas colectivas que transcienden, por tanto, los límites de los intereses, individuales de los habitantes. (Artículo 5, Ley 9 de 1989)

Estípite: Elemento de las palmas que constituye su eje principal o tallo.

Follaje: Conjunto de hojas de árboles y otras plantas.

Fustal: Árbol con diámetro (DAP) mayor a 10 cm y más de 1.5 metros de altura.

Fuste: Elemento leñoso del árbol que constituye su eje principal.

Jardinería: Conjunto de actividades requeridas para el adecuado diseño, plantación y mantenimiento de plantas herbáceas en diferentes estratos.

Jardinería ecológica: Conjunto de actividades que permiten la armonización de los objetivos estéticos y funcionales de las zonas verdes con elementos de protección y restauración del agua, el suelo, la biodiversidad y el entorno paisajístico.

IVP: Individuo vegetal plantado que corresponde al valor definido por la Secretaría Distrital de Ambiente como equivalencia de compensación para garantizar la persistencia del recurso forestal, expresado en términos de salarios mínimos mensuales legales vigentes.

Imprecisión cartográfica: La imprecisión cartográfica se refiere a la falta de precisión o la discrepancia entre la representación gráfica de un territorio en un mapa o plano y la realidad geográfica del mismo. Esta falta de correspondencia puede deberse a diversos factores, como la utilización de diferentes fuentes de datos cartográficos, la escala de representación y otros elementos que pueden influir en la precisión de la representación cartográfica. La imprecisión cartográfica puede manifestarse en la forma de distorsiones, errores en las dimensiones o ubicaciones geográficas, y otras desviaciones respecto a la realidad.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Latizal: Conjunto de árboles con altura mayor de 1.5 m y diámetro (DAP) menor a 10 cm.

Manejo Integral de plagas y enfermedades: Actividades de prevención y control cuyo objeto es evitar o disminuir el impacto negativo sobre la planta afectada, por encima de niveles que limiten su adecuado desarrollo y crecimiento o puedan ocasionarle la muerte.

Manejo Silvicultural: Son todas aquellas prácticas técnicas requeridas para el establecimiento, atención integral y tala de árboles.

Mantenimiento: Es el conjunto de prácticas técnicas básicas que incluyen el plateo, fertilización, riego, y poda de rebrotes.

Manual de Silvicultura Urbana, Zonas verdes y Jardinería para Bogotá: Documento que describe los aspectos técnicos y conceptuales de las actividades relacionadas con la arborización urbana, zonas verdes y jardinería. Incluye la descripción de las especies vegetales para la arborización y jardinería de Bogotá, y la metodología para su elección en los diferentes emplazamientos urbanos.

Manzanas: En el contexto urbanístico, una "manzana" se refiere a un espacio geográfico que reúne un conjunto de lotes con o sin construcción, públicos o privados, que está delimitado por espacios públicos. Estas manzanas se encuentran en la zona urbana o en áreas rurales con características urbanas.

Palma: Especie monocotiledónea de origen tropical o subtropical, generalmente no ramificada, donde su tronco se define como estípite, con hojas perennes que crecen en la parte superior en forma de penacho, denominado fronda.

Plan Distrital de Silvicultura Urbana, Zonas verdes y Jardinería: Es el instrumento directriz para la planificación de la silvicultura urbana, zonas verdes y jardinería de Bogotá que contiene los lineamientos técnicos, jurídicos y administrativos para su gestión.

Planes Locales de Arborización Urbana: Documento de planificación que contiene los lineamientos técnicos, jurídicos y administrativos para la gestión de la silvicultura urbana en las localidades de Bogotá.

Plan de Podas: Documento de soporte técnico con registro pormenorizado de las podas aéreas y/o de raíz que se presenta en dos etapas: al inicio, el inventario y la ubicación georreferenciada para cada uno de los individuos, de acuerdo a la información del SIGAU, y al finalizar, las fichas con soporte fotográfico del antes y después de la intervención; solicitado como requisito para las entidades públicas o privadas que realicen podas aéreas y/o de raíz en el arbolado urbano. Este documento deberá presentarse anualmente, en su fase inicial para conocimiento de la Secretaría Distrital de Ambiente y en su fase final para seguimiento.

Plantación: Conjunto de actividades técnicas requeridas para el adecuado establecimiento de la cobertura vegetal.

Poda aérea: Actividad de manejo consistente en el corte de ramas de una planta, cuyo objeto es controlar y orientar su desarrollo o retirar partes muertas o en malas condiciones.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Poda de raíces: Consiste en el corte de las raíces principales y/o secundarias de los individuos vegetales adultos que se encuentran en conflicto con redes, infraestructura u obras civiles o, en ocasiones, con el fin de controlar el tamaño final del árbol.

Producto forestal primario: Son los productos obtenidos directamente a partir de las trozas, tales como bloques, bancos, tablones, tablas y además chapas y astillas, entre otros.

Precisión: La propiedad de estimar la realidad del fenómeno de estudio con un error aleatorio mínimo.

Recuperación: Aborda el desarrollo de trabajos en sitios severamente degradados (P.e. tierras afectadas por minería a cielo abierto, construcción a gran escala, etc.) e implica, la mayoría de las veces, un cambio en el uso original del sitio afectado; no se orienta a restablecer la diversidad original, pero sí la función productiva y muchos de los servicios ecológicos originales. Tiene entre sus principales objetivos la estabilización de terrenos, la seguridad pública y el mejoramiento estético.

Rehabilitación ecológica: Concepto aplicado a recuperar elementos estructurales o funcionales dentro de un ecosistema, sin que necesariamente se intente completar una Restauración Ecológica.

Restauración ecológica: Proceso orientado a la intervención de las dinámicas sucesionales y su aplicación se basa en tomar como referencia un ecosistema predisturbio para el reestablecimiento de la estructura, funcionamiento, diversidad y dinámicas del ecosistema, y lograr que este sea capaz de autosostenerse. Es decir, implica retomar al ecosistema original.

Reforestación: Es el restablecimiento de cobertura forestal independientemente de las especies, métodos y fines con que se haga.

Revegetalización: Restablecimiento de la cobertura vegetal en la que se emplean diversos biotipos, desde herbáceos y arbustivos hasta trepadoras y árboles.

Salvoconducto: Es el documento que expide la entidad administradora del recurso para movilizar o transportar por primera vez los productos maderables y no maderables que se concede con base en el acto administrativo que otorga el aprovechamiento.

Silvicultura Urbana: Es un sistema múltiple de ordenación de la cobertura que incluye el sistema hídrico urbano, los hábitats de las especies animales presentes en la ciudad, el diseño del paisaje urbano, establecimiento, atención integral y tala de árboles, en forma aislada o en arreglos especiales como parte del mobiliario urbano, con el fin de potenciar la generación de servicios ambientales.

Sistema De Gestión De Arbolado Urbano De Bogotá: El Sistema de Información para la Gestión del Arbolado Urbano de Bogotá D.C., SIGAU contiene la información oficial de los árboles localizados en el espacio público urbano de la ciudad, tanto en bases de datos alfanuméricas como geográficas, dentro del perímetro urbano. Este sistema permite al usuario conocer las características y localización de los árboles, así como realizar consultas individuales y obtener indicadores de la base de datos. Además, El sistema permite el registro y actualización de todas las actividades operativas y de mantenimiento (plantación, tala, mantenimiento y manejo fitosanitario) por parte de las entidades competentes (Jardín Botánico José Celestino Mutis, SDA, EAAB, IDU y Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos).

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Seto: Asociación de arbustos o árboles en un arreglo lineal, establecidos y mantenidos para formar una barrera que impida la accesibilidad, la transparencia y la visibilidad. No plantada con fines comerciales.

Tablero De Control de Bogotá : El tablero de control del Sistema de Gestión del Arbolado Urbano de Bogotá, es una plataforma interactiva que presenta indicadores clave relacionados con el arbolado urbano y áreas verdes por localidad y Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ), permitiendo a los usuarios acceder a información detallada, incluyendo el número de árboles, densidad de árboles por habitante y por hectárea, sistemas de emplazamiento, y las 10 especies más representativas por tema, además de ofrecer interacción espacial, acceso a Street View y seguimiento en tiempo real de plantaciones y talas.

Tala: Actividad que implica la eliminación del individuo vegetal del arbolado urbano, mediante corte completo del fuste, independiente de su capacidad de regeneración.

Tratamientos especializados: Conjunto de prácticas técnicas especializadas que incluyen procedimientos no convencionales para la conservación y rehabilitación del arbolado urbano tales como bloqueo, traslado, cirugía, descope, empernados, instalación de tensores, manejo fitosanitario, poda aérea, confinamiento y poda de raíz, entre otros.

Universo estadístico: Describe el conjunto de unidades o individuos a los que se refiere el estudio y que satisfacen una definición común. Refleja los objetivos del estudio, por cuanto los describe en términos de contenido, unidades, espacio y tiempo.

Zona verde: Espacio de carácter permanente de dominio público o privado y/o uso público, que hace parte del espacio público efectivo establecido con el objeto de incrementar la generación y sostenimiento ecosistémico de la ciudad y de garantizar el espacio mínimo vital para el desarrollo de los elementos naturales que cumplen funciones de pulmón verde para la ciudad.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

6. ANTECEDENTES CENSOS DE ARBOLADO URBANO

Tanto a nivel nacional como internacional, se han adelantado diferentes experiencias con referencia a censos del arbolado urbano involucrando su gestión, manejo y ejecución. Estos actúan como referentes de gran importancia dentro del proceso que se encuentra adelantando en la ciudad de Cartagena, razón por la que a continuación se presentan algunos de estos ejemplos.

6.1 INTERNACIONALES

A nivel internacional, se establece que países como España cuentan con un gran avance en términos de la normatividad en silvicultura urbana, lo cual, le permite hacer uso de herramientas técnicas que mejoran la planificación y gestión en este campo. Por otra parte, en Latinoamérica, se encuentran ciudades como Buenos Aires y Mendoza, en Argentina, donde se cuenta tanto con un marco normativo como con censos adelantados y debidamente georreferenciados (Chacón Paramo, 2020).

Por su parte, otro de los países latinoamericanos que cuenta con inventarios de la composición arbórea de las ciudades, es Santiago de Chile, sin embargo, por la densidad de estos bosques el censo se basa en imágenes aéreas al igual que en Brasil (Chacón Paramo, 2020).

A continuación, se presentan con mayor detalle algunos de los ejercicios adelantados en diferentes países.

6.1.1 MÉXICO

En México, se estima que 32 entidades federativas cuentan con una Ley Estatal de arbolado urbano, Nuevo León fue el primer y único estado durante cinco años con una ley específica en el tema, después en un lapso de seis años se sumaron los otros seis estados. De estos, solo los estados de Jalisco, Nayarit, Quintana Roo, Sonora, Veracruz y Yucatán consideran en su ley de arbolado la necesidad e importancia de inventariar los árboles de manera periódica.

Sin embargo, en la mayoría de los casos, no existe un acceso a los inventarios elaborados por las municipalidades. (Reforestamos, 2019)

6.1.1.1 GUADALAJARA

El inventario del arbolado público urbano de la Zona Metropolitana de Guadalajara (CIGA) empleó un levantamiento con metodologías mixtas de tres niveles: El primer nivel es un Censo de localización de arbolado en los espacios públicos urbanos de 7 municipios de la Zona Metropolitana de Guadalajara, que incluye poco más de 1,158,000 árboles; el segundo nivel es una muestra de este censo que comprende casi 44,000 árboles y que incluye características taxonómicas y dasométricas; el tercer nivel es una submuestra de 4,386 árboles que incluye características fitosanitarias levantadas en campo. El Inventario fue realizado por el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental de la UNAM Campus Morelia.(Morales Manilla et al., 2018)

Por otro lado, el inventario forestal de Guadalajara mediante tecnología LiDAR reporta poco más de 929,000 árboles ubicados tanto en espacios públicos como privados dicho inventario fue realizado por la empresa Cartodata a solicitud de la Dirección de Medio Ambiente de la Ciudad de Guadalajara. (Morales Manilla et al., 2018)

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

6.1.2 ARGENTINA

En la Ciudad de Buenos Aires, la Ley 3263 "Arbolado Público Urbano", tiene por objeto *"proteger e incrementar el Arbolado Público Urbano, implementando los requisitos técnicos y administrativos a los que se ajustarán las tareas de intervención sobre los mismos."* (Art.1).

6.1.2.1 MENDOZA

El censo del arbolado urbano en la provincia de Mendoza, la cual cuenta con una superficie de 148.827 km^2 y conformada por 18 departamentos, dio inició en el año 2020 y formó parte de "Proyecto de Recuperación y Refuncionalización del Arbolado Urbano para el Área Metropolitana de Mendoza"(Gobierno de Argentina, 2020). El censo se concentró en las zonas urbanas de los municipios pertenecientes al Unicipio, mediante mapeo terrestre con la tecnología LiDAR y Mobile mapping, recorriendo 3.700 km con un móvil equipado con tecnología de vanguardia se capturarán 1.500 puntos 3D por segundo, logrando así tener imágenes de alta resolución integradas a medidas de calidad del arbolado público, también fue integrado un vuelo Aero fotogramétrico que cubrió cerca de 2.000 km^2 a fin de poder crear una "base cero" del estado del arbolado y permitir un análisis evolutivo de la masa arbórea.

En el año 2023, se presentaron los resultados preliminares del censo y se presentó el aplicativo Mi Árbol como herramienta de información y gestión que brinda información georreferenciada de cada árbol del Área Metropolitana, se conoció además, que la provincia de Mendoza tiene 615.835 árboles censados de los cuales 582.721 son denominados como árboles vitales. (Lagiglia, 2023)

App Mi Árbol: https://miarbol.mendoza.gov.ar/sgamdz/GeoSIT/AccesoExterno/Index

6.1.3 ECUADOR

En Ecuador, fue aprobado mediante Acuerdo Ministerial No.18 de 2016 las directrices para la conservación, uso y manejo de árboles urbanos, dentro de este, se establece que las municipalidades deberán elaborar inventarios y controlar la tala del arbolado urbano. (Acuerdo-Ministerial-N°-018, 2016)

6.2 NACIONAL

A nivel nacional se presentan experiencias en diferentes ciudades del país, las cuales son presentadas a continuación.

6.2.1 CENSO DEL ARBOLADO URBANO BOGOTÁ D.C, - CAU 2005 - 2007

El Censo del Árbol Urbano, constituyó una actividad estadística con el objetivo de realizar levantamiento de un conjunto de datos básicos asociados a las características morfológicas, silviculturales, fitosanitarias, de ubicación Georreferenciada y entorno de la población de árboles en la ciudad de Bogotá, con una cobertura geográfica de cuatrocientos mil (400.000) árboles, arbustos y palmas ubicados en la ciudad. (DANE, 2014)

En este censo, se estableció un criterio de exclusión con base en las siguientes características:

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

- La totalidad de árboles ubicados en el perímetro urbano en el espacio privado, en viviendas o edificios con jardines; infraestructura institucional como clubes; hospitales, clínicas, universidades, colegios, parques privados etc.
- La totalidad de individuos del arbolado urbano con alturas menores a 0,70 metros; las plantas de jardinería, los tocones y los setos; así como los de especie retamo espinoso.
- La totalidad de árboles ubicados en el perímetro rural, p ej. localidad de Sumapaz; parte de Ciudad Bolívar; parte del Relleno Sanitario de Doña Juana, entre otros.

6.2.2 CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA (CORTOLIMA)

El censo fue desarrollado por la Universidad de Tolima y CORTOLIMA, se registraron los árboles, arbustos y palamas que se encontraran en espacios de uso público como andenes, parques y zonas verdes de la comuna 4 en la ciudad de Ibagué, que cumplieran con las siguientes características: una altura total mayor o igual a 1,5 metros y diámetro del tallo o tronco mayor o igual a 1,5 centímetros. En total se realizó el censo de 4.582 individuos de los cuales 2.716 fueron árboles, 1.220 arbustos y 646 palmas.(Universidad del Tolima & CORTOLIMA, 2015)

6.2.3 CENSO ARBÓREO DE SANTIAGO DE CALI

El censo del arbolado urbano del municipio de Santiago de Cali, surgió, como respuesta a la necesidad de la ciudad, identificada por el DAGMA, de contar una herramienta básica para el manejo del arbolado urbano y fue plasmado en Acuerdo 0353 del 31 de octubre de 2013, por el cual se adoptó el Estatuto de Silvicultura Urbana para el municipio y se dictan otras disposiciones relacionadas con la regulación, reglamentación y promoción de actividades planificadas integrales en las áreas verdes de la ciudad. El proyecto de censo arbóreo se formuló en dos fases; la primera se ejecutó mediante convenio No 095 de 2013 entre la CVC y la Universidad Autónoma de Occidente, mediante el cual se censaron 9 comunas. La segunda fase correspondiente a la ejecución de las 13 comunas restantes, se ejecutó mediante el convenio N0 049 de 2014 entre la CVC y la Universidad Autónoma de Occidente. En el año 2015 CVC realizó un ajuste al censo arbóreo, etiquetado con placas metálicas 52.604 individuos arbóreos, identificada en la fase 1 la necesidad de ser revisados. (Alcaldía de Santiago de Cali, 2019)

6.2.4 BARRANQUILLA

El establecimiento público ambiental de Barranquilla verde subdirección de gestión ambiental grupo de recursos naturales realizo un diagnóstico del arbolado urbano y su valoración de los servicios ecosistémicos en Barranquilla utilizando las herramientas i-Tree (E.P.A Barranquilla Verde, 2022).

La metodología consiste en disponer de forma aleatoria un número de puntos determinado por el usuario en las imágenes satelitales y clasificarlos por tipo de cobertura. A partir de esta clasificación de puntos, se puede calcular una estimación estadística de la cantidad (m, ha) ² o porcentaje (%) de cada clase de cobertura junto con el error estándar, que es la estimación de la incertidumbre de la propia estimación estadística. (E.P.A Barranquilla Verde, 2022).

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

6.2.5 SISTEMA ÁRBOL URBANO MEDELLIN

El SAU utiliza el geo visor MAPGIS desarrollado por la compañía H&G Consultores y se constituye en uno de los medios de esta índole más destacados a nivel metropolitano en Colombia por la gran cantidad de información disponible, presentación y utilidades.

El SAU dispone de una capa general del arbolado y también otra de árboles patrimoniales, capas de límites administrativos y varias modalidades de mapa base. En el SAU se puede consultar, para los individuos incluidos en el sistema, las coordenadas de ubicación, especie, tipo de árbol, entre otros.(Alcaldía de Medellín, 2021)

El SAU es alimentado para la ciudad de Medellín, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 2119 de 2011, por información de aquellos contratos que realicen intervención sobre el árbol urbano en espacio público y para el Valle de Aburrá, por todos aquellos programas o proyectos que intervengan el arbolado en área pública o privada. (Alcaldía de Medellín, 2021)

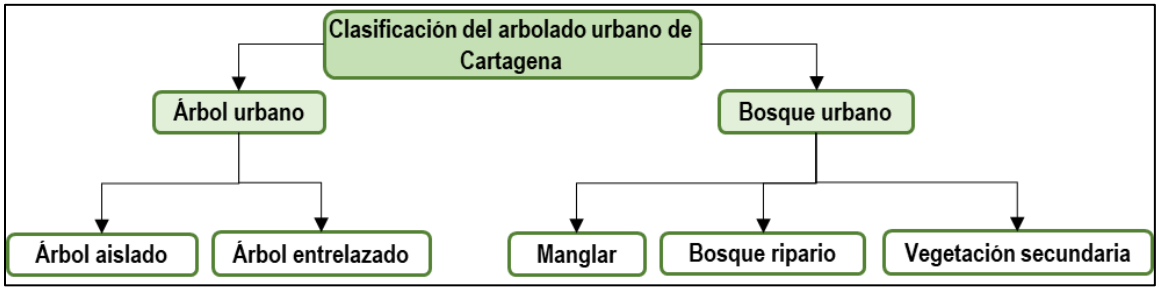
El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

7. UNIVERSOS DE ESTUDIO DEL DISTRITO DE CARTAGENA

Los censos de arbolado urbano, tanto en ciudades como Bogotá y Medellín, así como los evaluados a nivel internacional, tienden a centrarse en el árbol como un individuo singular, sin considerar adecuadamente las masas arbóreas que se encuentran distribuidas en diversos tipos de uso del suelo, independientemente de su papel en el desarrollo final del ordenamiento territorial. Estas evaluaciones pasan por alto el comportamiento de estas masas y por tal, para el Distrito de Cartagena de Indias, se evaluaron comprendiendo su configuración en dos universos de estudio denominados “árbol urbano” y “bosque urbano”, todo ello considerando que es importante conocer algunas de las características de la vegetación vinculadas al patrón espacial de las especies y a la distribución de frecuencias, puesto que entre más homogénea la población de la muestra es más representativa (Matteucci & Colma, 1982).

Por lo tanto, a continuación, se muestra una caracterización de los árboles y los bosques urbanos que se basan en la comparación de censos florísticos evaluados para proyectos en el Distrito, configurándose de esta forma, una clasificación de árbol urbano que a su vez puede presentar árbol aislado y árbol entrelazado y bosque urbano como se observa en la Figura 4.

Figura 4.Clasificación del arbolado urbano de Cartagena



Fuente: Elaboración propia

7.1 ARBOLADO URBANO

Se reconoce como árbol urbano al conjunto de plantas de las especies correspondientes a los biotipos árbol, arbusto, palma o helecho arborescente, ubicados en suelo urbano. (Decreto 531 de 2010, Alcaldía Mayor de Bogotá)

El arbolado urbano se ha enmarcado, fundamentalmente, en criterios urbanísticos y sociales, respondiendo por lo general a la funcionalidad del espacio público que lo contiene o del cual hace parte. En ese contexto, las áreas, zonas o espacios verdes han quedado diluidos o percibidos solo como componentes complementarios de los parques, plazas, plazoletas y del sistema vial respectivo. (Guía para el manejo del arbolado urbano en el Valle de Aburrá).

Según (FAO, 2016) se clasifican en cinco tipos de los cuáles los dos siguientes corresponde a la categoría de árbol urbano en el apartado siguiente se describirán las demás categorías:

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

- **Árboles en calles o plazas públicas:** Se refiere a la presencia de árboles en diversas ubicaciones dentro de áreas urbanas y espacios públicos, incluyendo calles, plazas, estacionamientos y otros lugares de uso común. Estos árboles desempeñan un papel vital en la configuración del entorno urbano, mejorando la calidad de vida de los residentes y visitantes, y aportando una serie de beneficios significativos tanto a nivel ambiental como social.

- **Otros espacios verdes con árboles:** Abarcan una amplia variedad de áreas y ubicaciones dentro de entornos urbanos y periurbanos que cuentan con una presencia significativa de vegetación arbórea. Estos espacios desempeñan roles diversos y contribuyen a la funcionalidad y calidad de vida en las áreas urbanas de diversas formas.

Por su parte (Escobar Manrique & Alvarez León, 2002) realizaron la caracterización de la vegetación de la zona industrial de Mamonal, Cartagena, en el que resaltan que la diversidad de la vegetación arbórea, la cual es característica de los bosques subxerofíticos e higrotropófilos de la costa norte de Colombia, esta vegetación es muy baja en comparación con otros bosques similares debido a la alta intervención antrópica que se presenta en la zona. Ahora bien, los árboles urbanos se clasifican en dos grandes grupos como se muestra a continuación:

7.1.1 Árbol aislado

Son arboles asociados a los separadores o vías, que está rodeado de una superficie dura, como concreto o asfalto (Fernández, 2013).

En el área de estudio, estos árboles pueden ser latifoliados, se encuentra asociada a canales son coberturas constituidas por plantaciones de vegetación arbórea realizada por la intervención directa del hombre con fines de manejo forestal. esta cobertura se encuentra asociada a las compensaciones realizadas en la margen izquierda y derecha del canal del Arroyo Grande con la presencia de especies como *Tabebuia rosea* (Roble), *Hura crepitans* (ceiba Bruja), *Ceiba pentandra* (Ceiba), entre otras (Escobar Manrique & Alvarez León, 2002).

También pueden ser palmas como *Palma abanico Pritchardia pacifica Seem. & H.Wendl. ,Palma botella Roystonea regia (Kunth) O.F.Cook, Palma de coco Cocos nucifera L. y la Palma manila Adonidia merrillii (Becc.) Becc.,* entre otras.

7.1.2 Árbol entrelazado

Se refiere a un conjunto de árboles que crecen tan cerca unos de otros que sus copas y ramas se superponen y se entrelazan, formando un dosel denso y tupido, esto resulta en una cobertura forestal densa y generalmente es un rasgo de bosques saludables y biodiversos (Canales et al., 2018).

Los árboles entrelazados en áreas urbanas se refieren a la situación en la que los árboles plantados en zonas urbanas, como parques, jardines, aceras y áreas verdes públicas, crecen en proximidad cercana unos de otros, a menudo formando un tejido verde denso en el paisaje urbano (Manna et al., 2004). Estos parches de vegetación no necesariamente se asemejan a los bosques tradicionales en términos de tamaño o estructura, pero comparten la característica de tener árboles que crecen en estrecha proximidad y a menudo se entrelazan sus ramas y follaje (Canales et al., 2018).

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Este tipo de árboles se presentan en diferentes tipos de zonas como parques, rotondas, cementerios, entre otras o lotes de terreno que no se han desarrollado urbanísticamente, este tipo de vegetación presentan un tamaño no superior a 1000 m^2 y se ubican dentro o contiguo al 'tejido urbano'.

7.2 BOSQUE URBANO DE CARTAGENA

Corresponden a zonas verdes localizadas en las áreas urbanas, sobre las cuales se desarrollan actividades comerciales, recreacionales, de conservación y amortiguación, donde los diferentes usos del suelo no requieren de infraestructura construida apreciable. En general, estas zonas verdes son áreas resultantes de procesos de planificación urbana o áreas que por los procesos de urbanización quedaron embebidas en el perímetro de la ciudad.

Las zonas urbanas verdes identifican todas las áreas cubiertas por vegetación con un tamaño superior a 1000 m^2 y que se ubican dentro o contiguo al 'tejido urbano'.

Se aclara que esta categorización de la vegetación no asocia y/o limita una connotación de suelo de protección ya que según el artículo 35 del decreto 388 de 1997 un suelo de protección está "constituido por las zonas y áreas de terreno localizados dentro de cualquiera de las clases de suelo urbano, rural y expansión urbana, que por sus características geográficas, paisajísticas o ambientales, o por formar parte de las zonas de utilidad pública para la ubicación de infraestructuras para la provisión de servicios públicos domiciliarios o de las áreas de amenazas y riesgo no mitigable para la localización de asentamientos humanos, tiene restringida la posibilidad de urbanizarse".

La categorización de "bosque urbano" se utiliza específicamente para hacer referencia a áreas de vegetación que pueden encontrarse en diversos tipos de usos o categorías de espacio público.

A lo largo de las ciudades existen diferentes tipos de bosques urbanos donde, según (FAO, 2016) se clasifican en cinco tipos se describen los tres que corresponden a bosque urbano:

- **Bosques y arboledas periurbanos:** Se refieren a los ecosistemas forestales y áreas arboladas que se encuentran en las cercanías de áreas urbanas, pueblos y ciudades. Estos bosques y zonas boscosas tienen una importancia significativa tanto para la naturaleza como para las comunidades humanas, ya que desempeñan múltiples roles y proporcionan una serie de bienes y servicios esenciales.

- **Parques urbanos y bosques urbanos (>0,5 ha):** Se refieren a áreas de espacio abierto planificadas y diseñadas dentro de entornos urbanos que abarcan un tamaño considerable, generalmente mayor a 0,5 hectáreas (5,000 metros cuadrados). Estos espacios están destinados a servir como pulmones verdes en áreas densamente pobladas y están dotados de una variedad de características que promueven la interacción de las personas con la naturaleza y fomentan la recreación y el ocio.

- **Parques y jardines de bolsillo con árboles (<0,5 ha):** Se refieren a áreas verdes más pequeñas ubicadas dentro de áreas urbanas y que generalmente abarcan menos de 0,5 hectáreas (5,000 metros cuadrados). Estos espacios, aunque de tamaño limitado, desempeñan un papel crucial en la creación de entornos urbanos más agradables, accesibles y sostenibles al proporcionar una variedad de beneficios para los residentes locales y visitantes.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

La mayor parte del territorio está cubierto por bosques xerofíticos, subxerofíticos y ecosistemas de manglar, los diámetros y las alturas, la mayoría de los individuos se agruparon en los intervalos de diámetros inferiores, disminuyendo de forma progresiva hacia las clases superiores, lo que indica que muchos de estos ecosistemas se encuentran en un proceso de sucesión temprana (Universidad de Cartagena, 2022).

La franja vegetal que rodea los canales que se encuentran al interior de la ciudad de Cartagena de Indias no supera en ningún caso los diez metros (10m) de ancho, contados desde la orilla de los canales, donde en algunos casos la altura promedio de la especie vegetal más abundante alcanza los diez metros (10m) de altura, lo cual afecta las funciones ecológicas que puede brindar (Universidad de Cartagena, 2022).

Tabla 1.Determinación del área preliminar de los tipos de vegetación de Cartagena

Tipo de vegetación	Área (ha)
Manglar	107,90
Bosque ripario	40,28
Vegetación secundaria	1290,49
Total	1438,67

Fuente: Elaboración propia

7.2.1 Manglar

Corresponde a las áreas con vegetación de tipo arbóreo caracterizada por un estrato más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más de 70% del área total de la unidad, con altura del dosel superior a 15 metros (Mendoza, 2008). En el área de estudio, algunos sectores del bosque de manglar están dominados por especies de porte alto (mayor a 10 m) de *Avicennia germinans (L.) L*, sin embargo, también se encuentran asociaciones de una o varias especies con porte arbustivo, con alturas que no superan los 6 metros (MMA & PNUMA, 2020).

7.2.2 Bosque de galería y ripario

Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. con especies representativas como *Muntingia calabura* (Chitató), *Tabebuia rosea* (Roble), *Leucaena leucocephala* (Leucaena) y *Guazuma Ulmifolia* (Guacimo) (MMA & PNUMA, 2020).

7.2.3 Vegetación secundaria baja

Comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se presenta luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original. Se desarrolla en zonas desmontadas para diferentes usos, en áreas agrícolas abandonadas y en zonas donde por la ocurrencia de eventos naturales la vegetación natural fue destruida. No se presentan elementos intencionalmente introducidos por el hombre (Mendoza, 2008). se identificaron zonas en estado sucesional temprano, en donde predominan las especies: Leucaena (*Leucaena leucocephala*) y aromo (*Vachellia farnesiana*)(MMA & PNUMA, 2020).

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

8. METODOLOGÍA DEL CENSO DEL ARBOLADO URBANO

El Censo del Árbol Urbano, constituye una actividad estadística que tiene por objeto el levantamiento de un conjunto de datos básicos asociados a las características morfológicas, silviculturales, fitosanitarias, de ubicación Georreferenciada y entorno de la población de árboles.

Para lograr esto, en los censos realizados por la secretaria de ambiente de Bogotá ejecutan los procesos de control en campo, en el cual usa el formato llamado "Cartera de Campo" donde los censistas registran datos de identificación y características de los árboles. Luego, los supervisores realizan un pre-cierre, revisando al menos el 10% de los árboles censados en un área geográfica para detectar discrepancias. Los coordinadores operativos llevan a cabo un cierre en tres etapas: revisión en campo del 10% de los árboles, validación de datos y georreferenciación, y finalmente, el cierre formal del área geográfica. Semanalmente, el equipo estadístico realiza un análisis de consistencia de la información en la base de datos (DANE, 2009).

Estos procesos permiten entender que la verificación en campo es una tarea laboriosa y dispendiosa que a pesar de pasar por un proceso de calidad presenta errores humanos. Por lo tanto, teniendo en cuenta las metodologías internacionales revisadas, el presente censo se desarrolla con una metodología innovadora realizada a partir de algoritmos de redes neuronales, que, al ejecutarlos en la ortofoto, permiten determinar con alta precisión la ubicación de los árboles, y por otra parte, los datos LiDAR dan una composición vertical de la estructura vegetal permitiendo determinar tanto la ubicación como alturas de los individuos.

Es por esto que el presente apartado se muestra la metodología para el procesamiento de los datos levantados en campo mediante fotogrametría y LiDAR, el diseño muestral, y los entrenamientos generados para la clasificación de la nube de puntos, establecidos para el censo. Finalmente, se muestra la necesidad de realizar una verificación de campo.

8.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES

En el censo de árboles, se calcularán cuatro variables fundamentales para cada individuo censado. Estas variables son: X (que corresponde a la coordenada de longitud), Y (que se refiere a la coordenada de latitud en la cartografía), Z (que representa la altitud del árbol con respecto al nivel del mar) y H (que indica la altura del árbol).

La elección de utilizar la tecnología LiDAR para realizar este censo se fundamenta en las ventajas y facilidades que proporciona para lograr una determinación precisa y eficiente de las alturas y ubicaciones exactas de los árboles. Esta tecnología permite obtener una visión continua de la estructura vertical de la vegetación, en contraste con los métodos tradicionales, lo que resulta útil para la toma de decisiones en el área urbana del Distrito de Cartagena de Indias.

8.2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Para el levantamiento de información se realizó un procedimiento de plantificación de vuelo que contempla la representación sobre el mapa para los puntos de captura de las imágenes y la altura del vuelo, así mismo se contemplaron los permisos de vuelo. Para asegurar la calidad en la captura de las imágenes, todo ello bajo lo establecido en la resolución del IGAC 471 de 2020 que contempla que las fotos capturadas deben pasar por un proceso de control de calidad, dicha inspección se realiza de forma visual en la totalidad de las fotos para

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

aislar las fotografías con nubosidad mayor al 3 %, en donde se señala que si el área omitida (entiéndase por omisión la presencia de nubes, sombras y no captura del dato) es mayor o igual al 3%, el conjunto de datos se considera como no conforme, por lo tanto es importante que las condiciones meteorológicas sean opimas para que el producto este acorde a las especificaciones del cliente y con los estándares del instituto Geográfico Agustín Codazzi.

8.3 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DE VUELO

En este apartado se describe la metodología que será utilizada en la realización de procesamiento de la nube de puntos LiDAR y la ortoimagen.

8.3.1 LiDAR

A continuación, se describen los procedimientos a realizar para el procesamiento de la información LiDAR la cual será empleada dentro del censo del arbolado urbano.

8.3.1.1 Clasificación de la nube de puntos

La clasificación y filtrado automático de puntos LiDAR que corresponden al terreno, depende directamente de la parametrización inicial según las características del terreno en cada área del proyecto. Durante el proceso de búsqueda de parámetros adecuados para las rutinas de clasificación automática nos apoyamos en las imágenes de intensidad de los datos LiDAR y en el modelo SRTM (Modelo global altimétrico), detectando zonas con mayor pendiente.

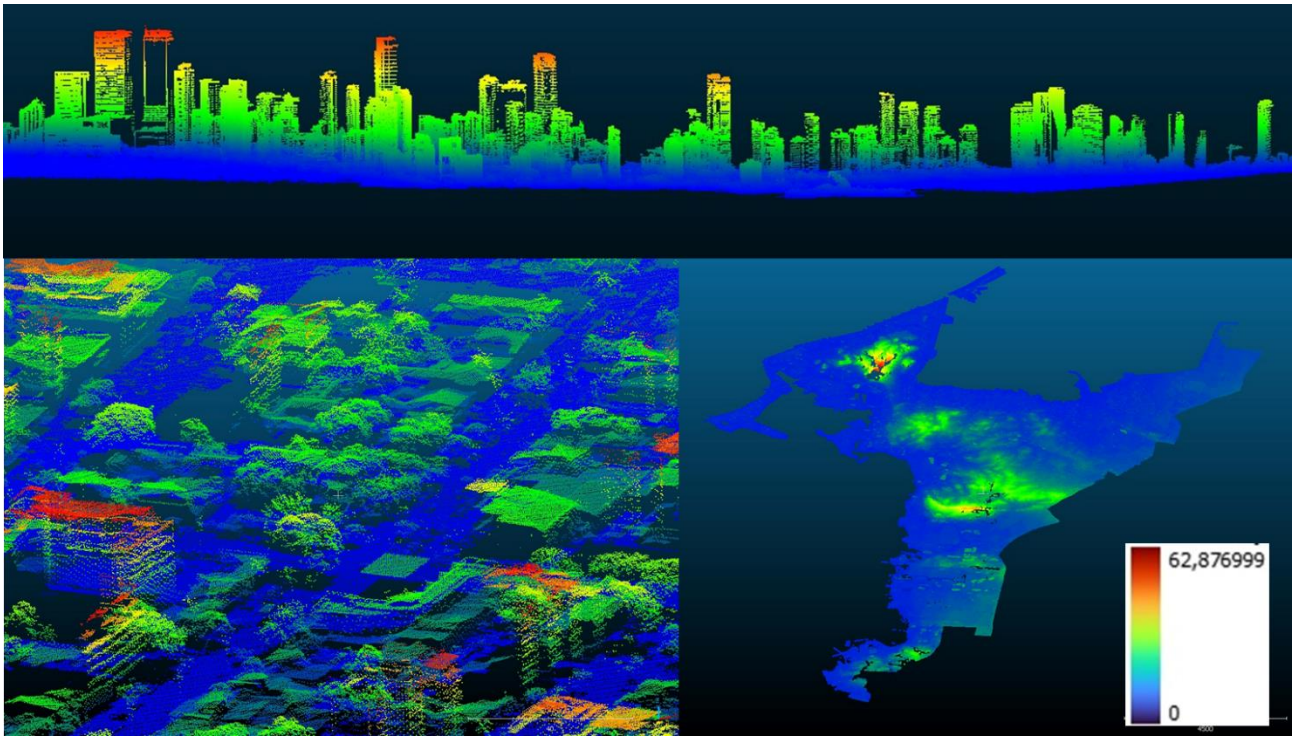
8.3.1.2 Depuración de datos LiDAR

A partir de los puntos clasificados como terreno, se generan superficies o mapa de sombras del suelo desnudo, para visualizar las pequeñas anomalías producidas por la clasificación automática. Durante el proceso manual de depuración se trazan perfiles transversales en las zonas problemáticas (especialmente en taludes, zonas vegetación densa, zonas con construcciones, etc.) y con ayuda de diferentes herramientas se clasificarán los puntos en la capa correspondiente.

La depuración manual de datos se realizará bloque a bloque, clasificando cada punto en la capa correspondiente, tanto si el producto a generar es un modelo digital de terreno (MDT) como si se trata de un modelo digital de superficie (MDS). La diferencia entre ambos productos reside en la exportación de los datos que van a formar parte de cada uno de los modelos.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Figura 5.Nube de puntos LiDAR



Fuente: Elaboración propia

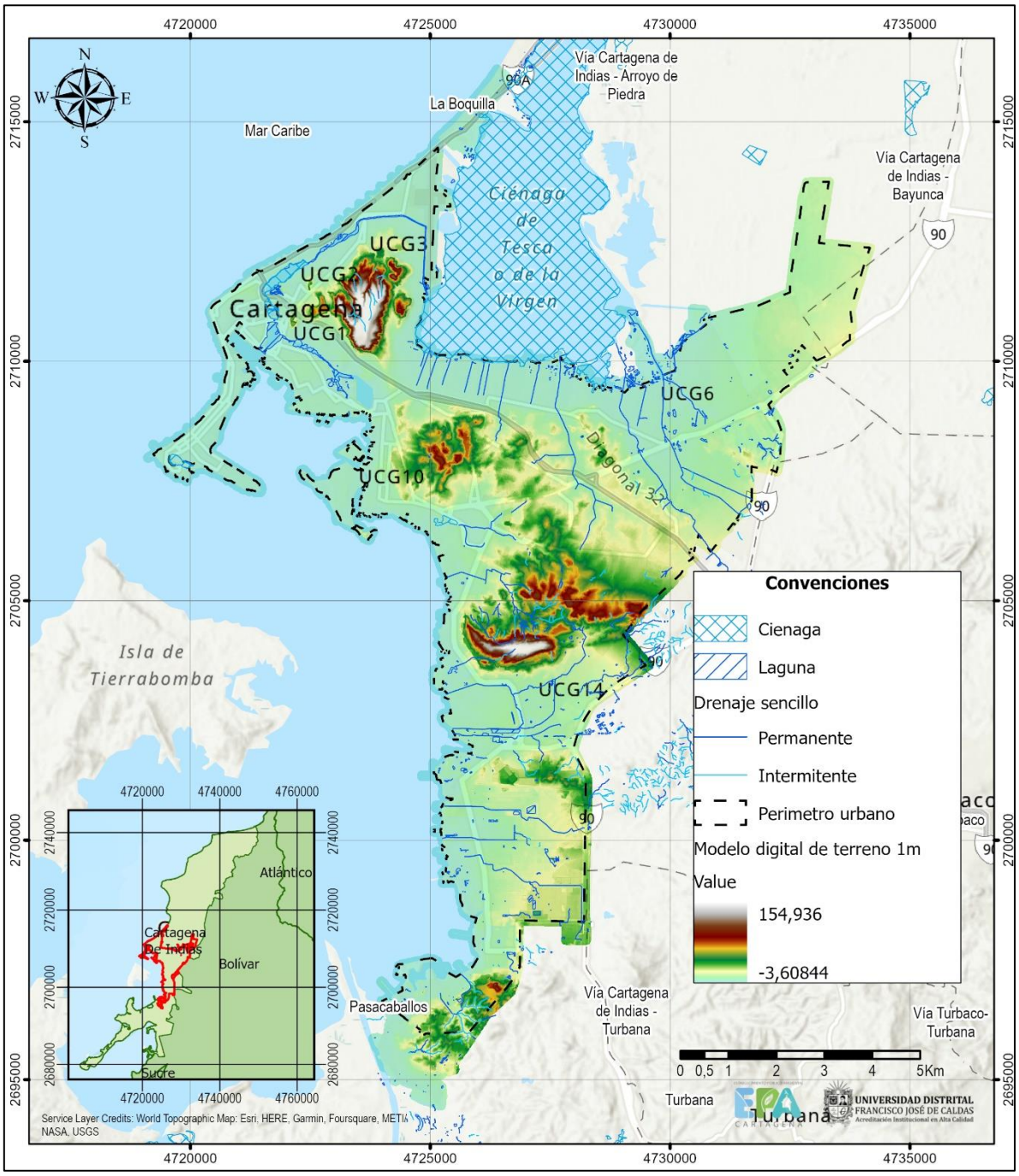
8.3.1.3 Generación del Modelo Digital del Terreno (MDT) y Modelo Digital de Superficie (MDS)

- Modelo Digital del Terreno, se entiende por MDT a la modelización del terreno ignorando las alturas de las infraestructuras humanas y las alturas de la vegetación. Se construye combinando una malla de elevaciones a cota suelo con la restitución de las líneas de ruptura naturales del terreno.
- Modelo Digital de Superficie. Se entiende por MDS a la modelización del terreno teniendo en cuenta las alturas de las infraestructuras humanas cuya cota no sea el suelo.

El modelo digital del terreno se genera a partir de los puntos de ground o terreno, con la metodología de average. Mediante la metodología anteriormente descrita y los resultados estadísticos obtenidos en c/u de los controles de alturas realizados, podemos garantizar el correcto ajuste de la nube de puntos LiDAR en cota Ortométrica, así como también se garantiza la calidad de los productos derivados de la misma (MDT, MDS, MKPs y curvas de nivel).

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

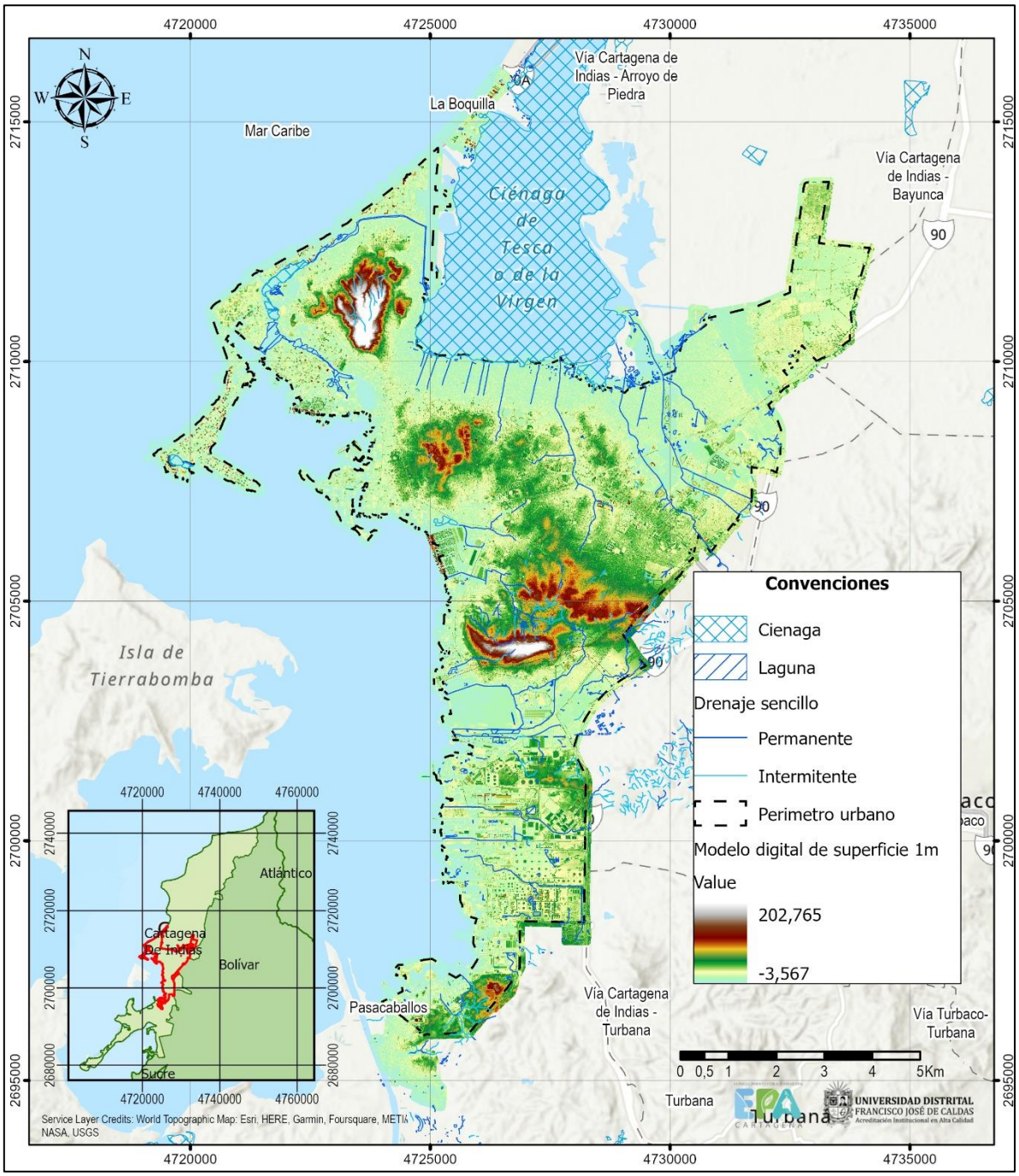
Figura 6.Modelo digital de terreno MDT



Fuente: Elaboración propia

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Figura 7.Modelo digital de superficie MDS



Fuente: Elaboración propia

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

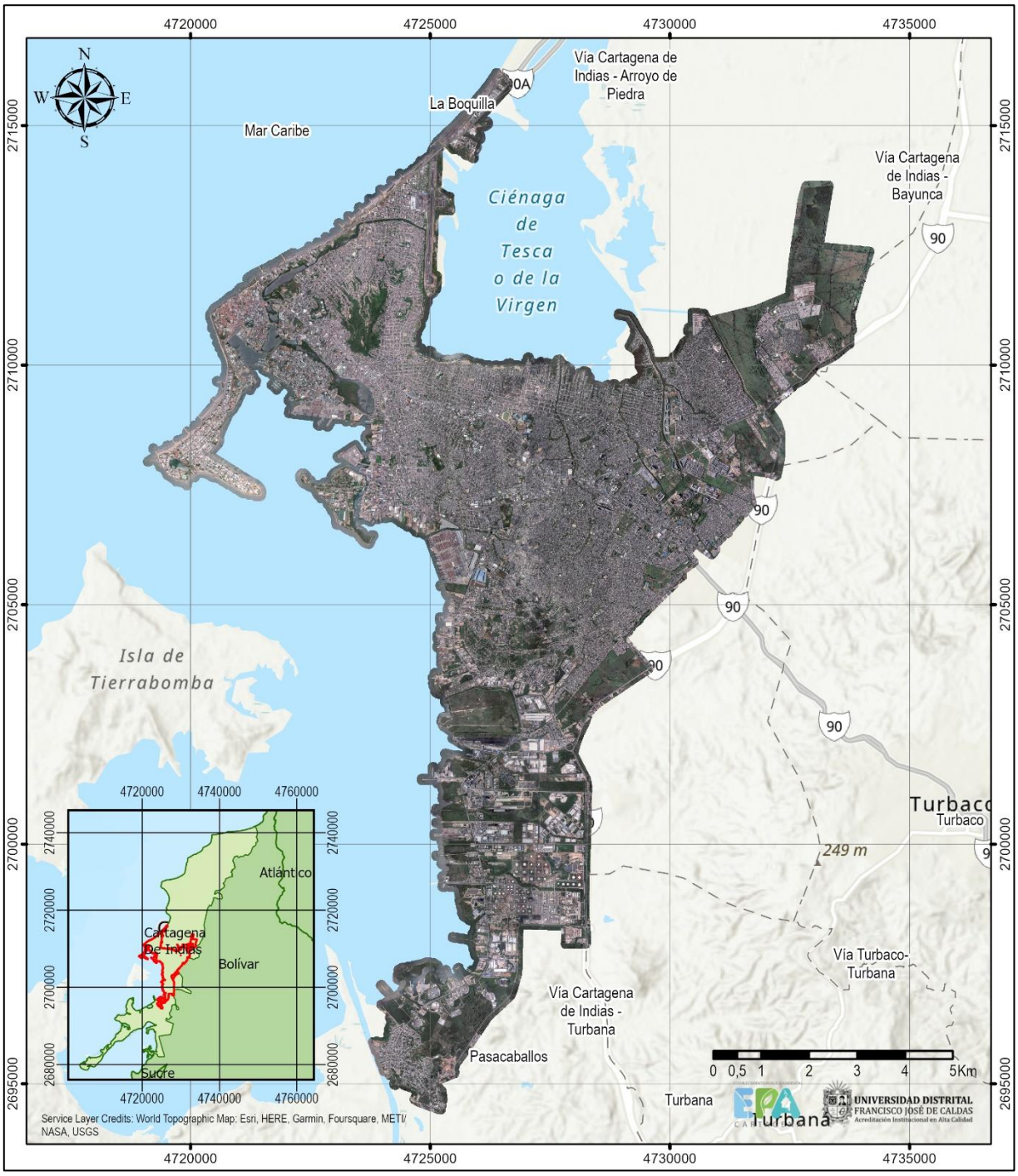
8.3.2 ORTOFOTO

El control de calidad que se realiza a las ortoimágenes se focaliza sobre dos aspectos fundamentales, cuyas propiedades aseguran la calidad del producto:

- Radiometría. Sobre cada ortofoto se realiza un control de calidad radiométrico en el que se refleja el histograma de la imagen, el porcentaje de blancos y negros (saturación), la media y la desviación estándar. De igual modo, se comprueba que todas las hojas poseen continuidad radiométrica interna y con las adyacentes, de modo que se evitan efectos de “teselado” del bloque de ortoimágenes.
- Geometría. Se realiza un control de calidad de cada ortofoto con puntos de control bien definidos. Se miden estos puntos sobre la ortofoto, calculando la discrepancia de las coordenadas originales con las coordenadas medidas sobre la ortofoto, obteniendo un residuo para cada punto en planimetría y un error medio cuadrático del conjunto. Por último, se comprueba que la precisión de la ortofoto cumple con lo requerido según las condiciones técnicas en concordancia con las resoluciones 471 y 529 de 2020 IGAC.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

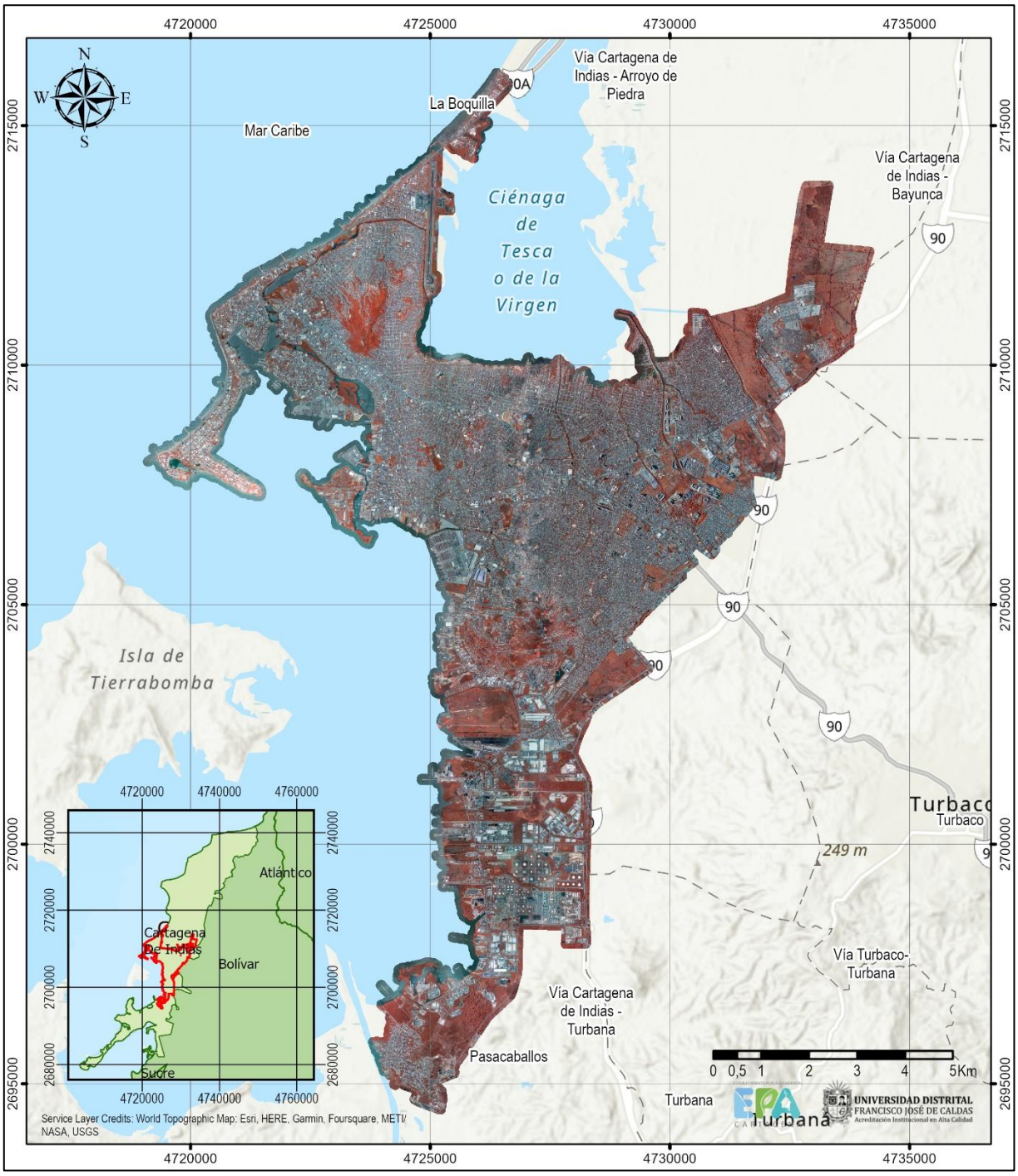
Figura 8.Ortofoto mosaico del distrito de Cartagena



Fuente: Elaboración propia

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Figura 9.Ortofoto mosaico con NIR del distrito de Cartagena



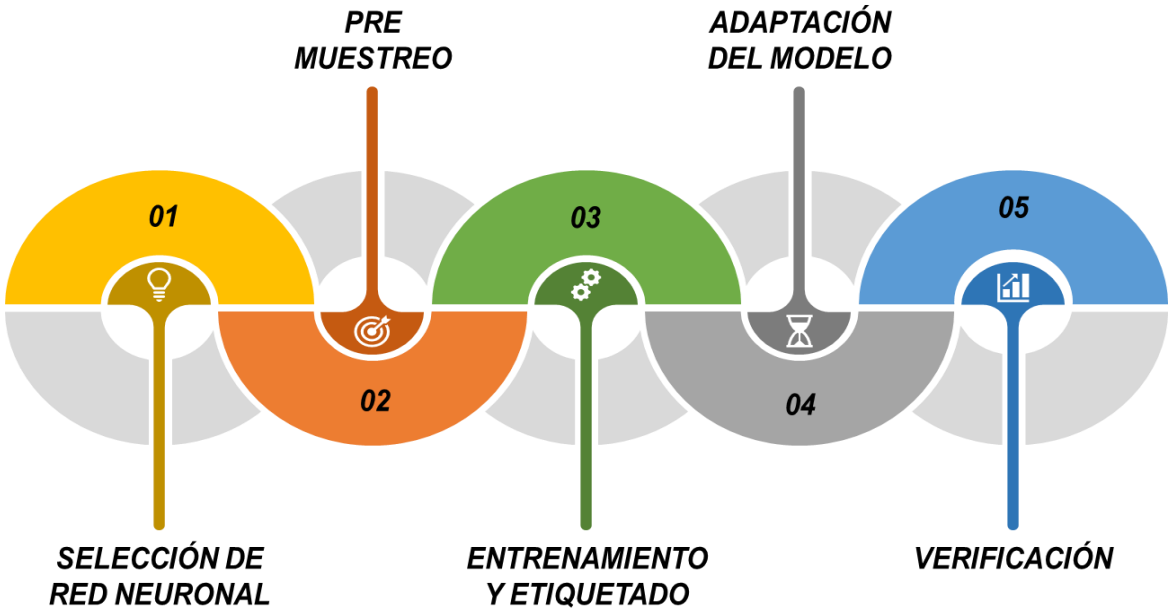
Fuente: Elaboración propia

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

8.4 ALGORITMO DE CLASIFICACIÓN DE ÁRBOLES

El censo de arbolado urbano del Distrito de Cartagena se compone de 5 fases: selección de red neuronal, premuestro, entrenamiento y etiquetado, adaptación del modelo y verificación como se muestra en la Figura 10.Estas fases se detallan más en los siguientes numerales.

Figura 10.Etapas del algoritmo de identificación de árboles



Fuente: Elaboración propia

8.4.1 PRIMERA FASE -SELECCIÓN DE RED NEURONAL

Para esta primera fase, se implementó el uso de una red neuronal para la identificación de objetos, conocida como deep learning, el cual se considera una rama dentro del campo del machine learning, y se caracteriza por el uso de redes neuronales compuestas por tres o más capas, estas redes neuronales buscan imitar el funcionamiento del cerebro humano, aunque distan mucho de alcanzar su nivel de capacidad, no obstante, les permiten adquirir conocimientos a partir de vastas cantidades de datos, mientras que una red neuronal con una única capa ya puede realizar predicciones aproximadas, las capas adicionales que se encuentran en el interior contribuyen a mejorar y perfeccionar la precisión del modelo desarrollado (Lecun et al., 2015).

La red neuronal que se implementó para la detección de árboles se basa en el principio de la detección de objetos, que consiste en identificar características en una imagen (ESRI, 2023b). En un contexto más amplio de visión por computadora, un modelo puede localizar la posición de diversos animales utilizando este proceso, generalmente delimitando estas características de interés mediante un cuadro delimitador. Esta técnica encuentra aplicaciones en Sistemas de Información Geográfica (SIG), donde se emplea para identificar elementos específicos en imágenes obtenidas desde satélites, aeronaves o drones, y posteriormente mapear estas características en un mapa (ESRI, 2023b).

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Se selecciono el modelo YOLO V7 ya que es un algoritmo de detección de objetos de aprendizaje profundo que se puede usar en ortofotos para reconocimiento de objetos, adicionalmente, destaca para el procesamiento de otros modelos pre entrenados por las siguientes características:

- Velocidad: Es uno de los modelos más rápidos de detección de objetos, lo que lo hace ideal para aplicaciones en tiempo real. Esto es importante para la detección de árboles en ortofotos, ya que las ortofotos son imágenes de gran tamaño que pueden tardar mucho en procesarse con otros modelos.
- Precisión: Tiene una precisión alta para detectar objetos en imágenes, incluso cuando estos objetos están parcialmente ocultos o son pequeños. Esto es importante para la detección de árboles, ya que los árboles pueden ser de diferentes tamaños y formas.
- Versatilidad: Puede ser utilizado para detectar una variedad de objetos, incluyendo árboles, personas, vehículos y animales. Esto lo hace una buena opción para aplicaciones que requieren la detección de diferentes tipos de objetos.

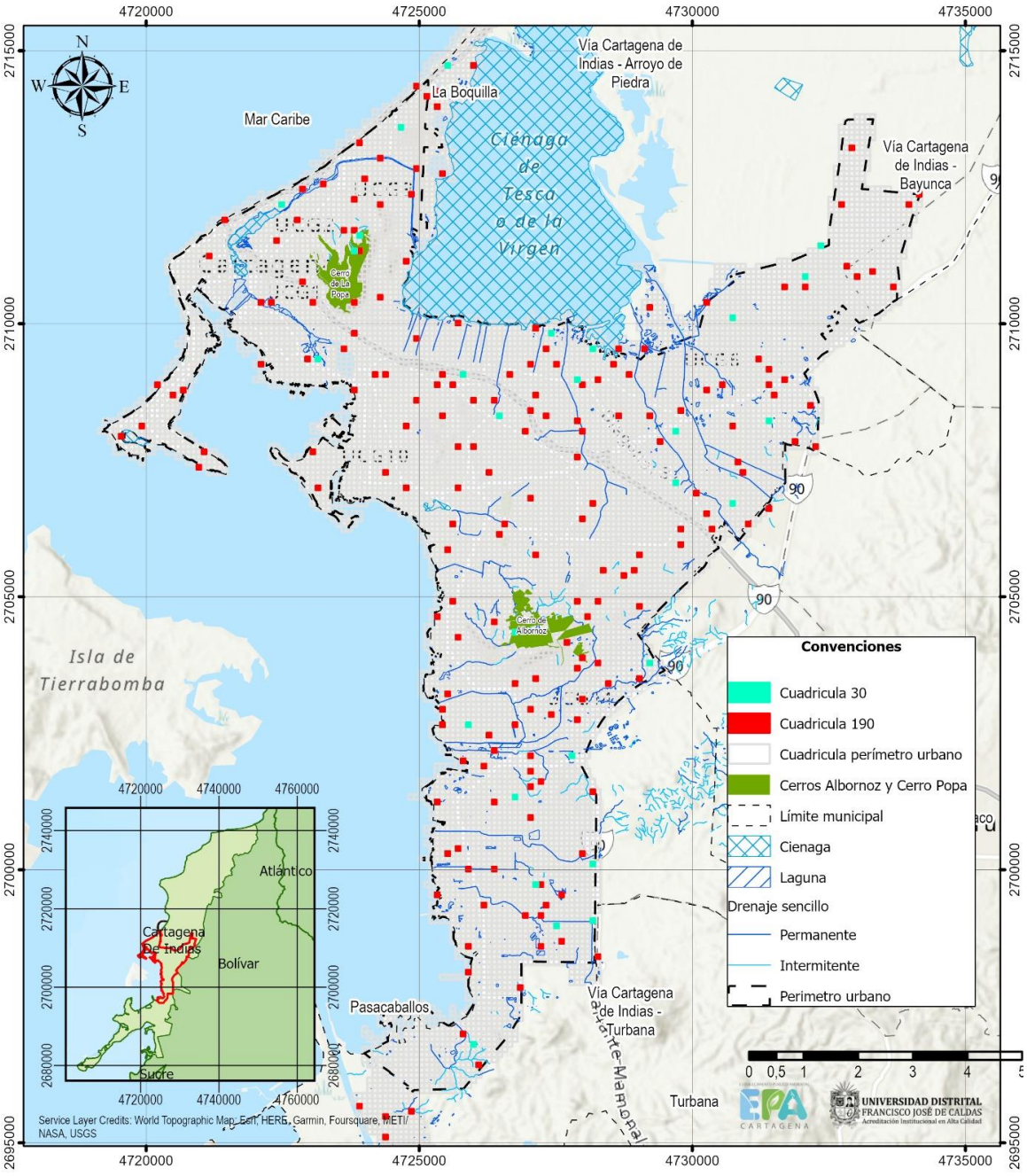
Para usar la red pre entrenada, se debe tener en cuenta que las imágenes deben ser de al menos 640x640 píxeles ya que YOLO V7 utiliza un enfoque de detección de objetos de una sola etapa, lo que significa que debe poder identificar objetos de todos los tamaños en una sola pasada. Se deben tener imágenes de alta calidad y libres de ruido, y las imágenes deben tener una variedad de objetos para garantizar que YOLO V7 se desempeñe bien en una variedad de escenarios.

8.4.2 SEGUNDA FASE-ESTABLECIMIENTO DE UN PRE-MUESTREO PARA ENTRENAMIENTO DE TESELAS

El modelo de redes seleccionado requiere una base de datos pre entrenada que permita brindarle información al algoritmo de que objetos se desean clasificar, es por esto que se realizó el teselado del área de estudio, por medio de la herramienta Generate Tessellation esta herramienta genera una cuadrícula teselada de entidades poligonales regulares para cubrir una extensión determinada (ESRI, 2023a). Para el área de estudio se crearon cuadrados de 640x640 pixeles dando un total de 10.679 cada una con su respectivo código de identificación, a continuación (Ver Figura 11).

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Figura 11. Teselas de entrenamiento de modelo



Fuente: Elaboración propia.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

8.4.3 TERCERA FASE- ETIQUETADO DE ÁRBOLES PARA INGRESAR AL MODELO

Se seleccionaron aleatoriamente 30 teselas en las que se contaron manualmente la cantidad de árboles presentes en cada una, con el fin de identificar la variabilidad de cada tesela, una vez identificados la cantidad de individuos por teselas se calculó la cantidad de teselas a etiquetar mediante la fórmula de tamaño muestreal obteniendo una cantidad 190 teselas.

Las 190 teselas se seleccionaron aleatoriamente, y fueron ingresadas a la plataforma de aprendizaje automático "roboflow", la cual está desarrollada para la visión por computadora que permite a los desarrolladores crear, entrenar y desplegar modelos de aprendizaje automático para una variedad de aplicaciones. En este caso, se usó específicamente para el etiquetado de los árboles y palmas en las teselas. En este método, al subconjunto de entrenamiento/validación etiquetada se le aplico el aumento de imágenes, ya que este proceso ayuda a mejorar la capacidad del modelo para generalizar y funcionar de manera efectiva en imágenes invisibles o distorsionadas para ellos se usó las opciones de voltear, rotar, brillo, y cuadro delimitador con rotación de 90° y corte, proceso que permitió aumentar las salidas a un total de 632 teselas.

Figura 12. Ejemplo de etiquetado de árboles para ingresar al modelo



Fuente: Elaboración propia.

8.4.4 CUARTA FASE- ADAPTACIÓN DEL MODELO RNNC PARA IDENTIFICACIÓN DE ÁRBOLES

El dataset descargado de la plataforma roboflow, se cambió dentro del modelo de redes neuronales de YOLO V7, el cual se usó para entrenar con 100 épocas mediante la red pre entrenada de YOLOV 7, esta red pre entrenada de 100 épocas se validó directamente en la plataforma de YOLO V7 en el que se tuvo un resultado de alta precisión (Figura 13)

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Figura 13. Prueba del modelo YOLOV7 con el dataset entrenado



Fuente: Elaboración propia.

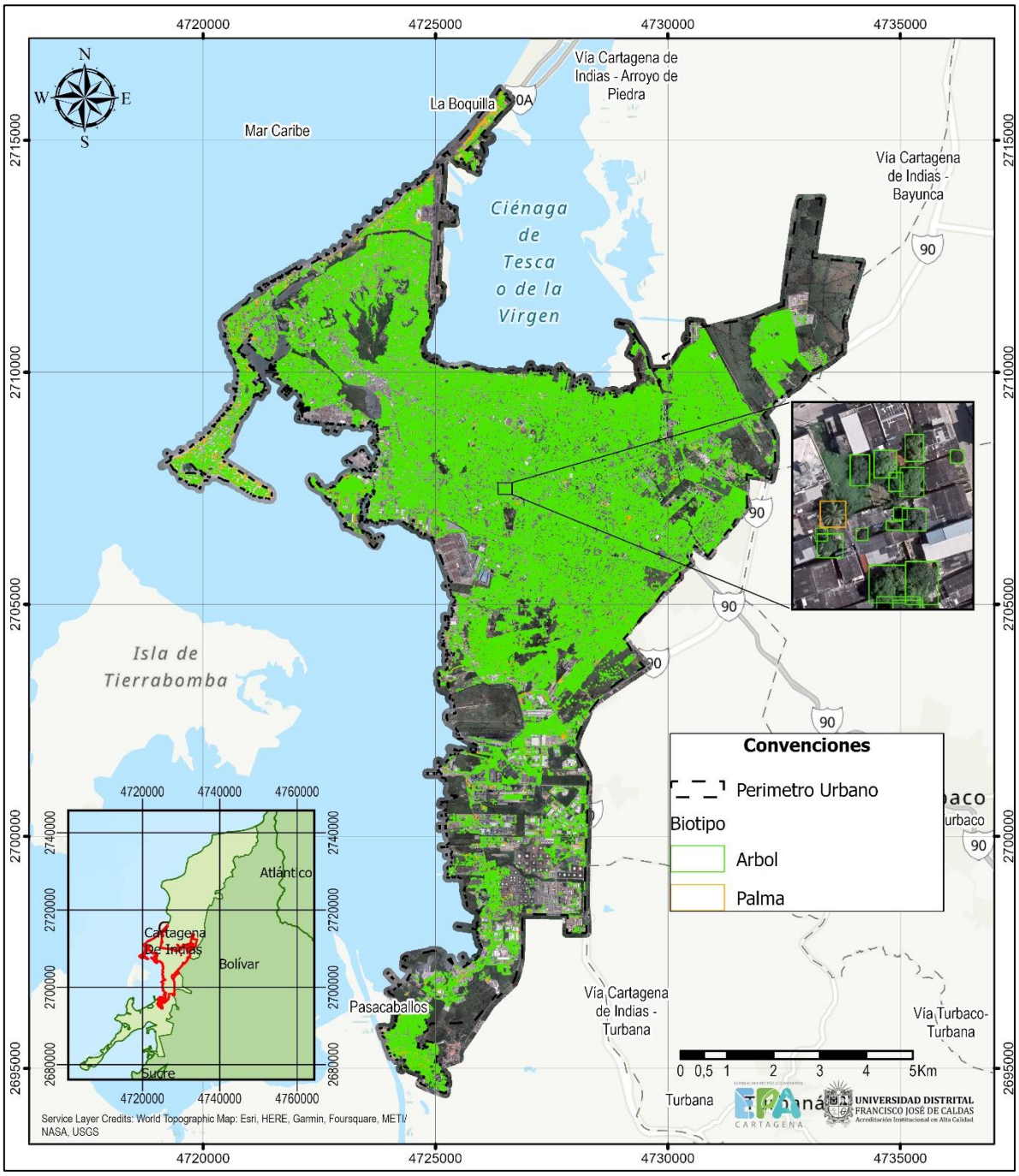
Una vez se obtiene una validación por encima del 70%, el archivo de entrenamiento se convirtió al modelo ONNX que permite dar coordenadas planas y georreferenciar los árboles identificados por el algoritmo.

Posteriormente, se le dieron los parámetros requeridos por la documentación del plugin “DeepNess” de QGIS, que es una herramienta que permite a los usuarios crear modelos de aprendizaje automático de detección de objetos para imágenes aéreas. El plugin utiliza un enfoque de detección de objetos de una sola etapa, lo que lo hace eficiente para procesar imágenes aéreas, que pueden ser grandes y complejas.

Como resultado de este proceso, se obtener una identificación preliminar de los árboles en el área de estudio, como se puede apreciar en la Figura 14. En total, se detectaron y catalogaron 187.443 árboles urbanos, excluyendo aquellos que forman parte del bosque urbano y enfocándonos únicamente en los árboles urbanos dentro de los límites definidos por la EPA en el área urbana.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Figura 14. Identificación preliminar de árboles urbanos.



Fuente: Elaboración propia.

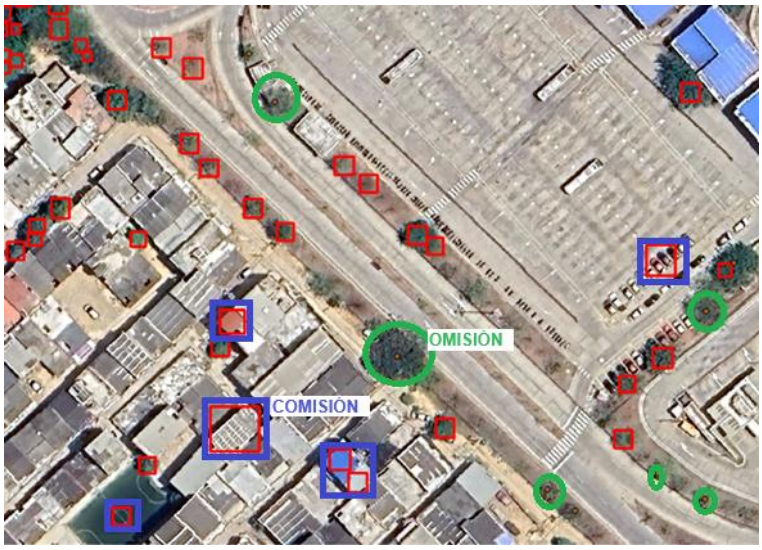
El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

8.4.5 QUINTA FASE-VERIFICACIÓN POR PRECISIÓN-RECALL Y F1 SCORE

En general, un modelo de detección de objetos con una precisión alta es un modelo que identifica correctamente los objetos que detecta. Las métricas de precisión, recall y F1 score son importantes para evaluar el rendimiento de los modelos de detección de objetos (Ver Figura 15). Estas métricas ayudan a determinar qué tan bien un modelo puede identificar y detectar objetos en imágenes. Por lo tanto, en la validación de modelos de detección de objetos, se utilizaron las siguientes métricas:

- Precisión global: La precisión global es la precisión calculada sobre todos los objetos de todas las clases. Precisión = Comisión / (Comisión + Omisión)
- Recall global: El recall global es el recall calculado sobre todos los objetos de todas las clases. Recall = Total de identificación / (Comisión + Omisión)
- F1 score global: El F1 score global es el F1 score calculado sobre todos los objetos de todas las clases. F1 score = 2 * (Precisión * Recall) / (Precisión + Recall)

Figura 15. Validación del Modelo Detection Tree



Fuente: Elaboración propia

8.5 UBICACIÓN GEOREFERENCIADA DEL CENSO DE ARBOLADO URBANO

La utilización del algoritmo y la clasificación supervisada permitió la identificación de un total de 186.344 individuos de árboles y palmas dentro del Distrito de Cartagena. Para un análisis adecuado de esta identificación, en este capítulo, se presenta el sistema de codificación de árboles, que es fundamental para llevar a cabo una monitorización adecuada de los individuos arbóreos.

Posteriormente, se detalla el proceso de posicionamiento en términos de coordenadas X, Y, y Z de cada árbol, así como la determinación de su altura mediante tecnología LiDAR. Finalmente, se exponen los índices correspondientes a las distintas divisiones administrativas, comenzando por las localidades, seguidas de las

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

unidades comuneras de gobierno y el espacio público, lo que permite un análisis completo y detallado de la distribución de los árboles en el Distrito de Cartagena.

8.5.1 SISTEMA DE CODIFICACIÓN

Con el fin de identificar de manera más sencilla se propone trabajar con un identificador único de espacio público determinado por seis (06) componentes con diecisiete (17) dígitos: la localidad, unidad comunera de gobierno, emplazamiento, biotipo, el código único del árbol y el estado de censo o verificación del individuo, en cada componente se establecerán los campos necesarios de acuerdo a la posibilidad de codificación que existe en cada campo que está conformado por un solo digito.

	COMPONENTE 01 LOCALIDAD		COMPONENTE 02 UCG		COMPONENTE 03 EMPLAZAMIENTO		COMPONENTE 04 BIOTIPO		COMPONENTE 05 CÓDIGO ÁRBOL							COMPONENTE 06 VALIDACIÓN	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Campo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

8.5.1.1 LOCALIDADES

Las enumeraciones se realizarán de acuerdo con las tres localidades, para su efecto se contempla dos (2) campos, toda vez que se antecede el digito cero (0) a cada una.

01 Localidad Histórica y del Caribe Norte

02 Localidad de la Virgen y Turística,

03 Localidad Industrial de la Bahía

99 No definido

8.5.1.2 UNIDADES COMUNERAS DE GOBIERNO

Las comunas presentes en la ciudad de Cartagena son 15, para su efecto se contempla dos (2) campos, toda vez que se antecede el digito cero (0) en aquellas del 1 al 9 y se componen de los siguientes barrios:

01 Castillogrande, Laguito, Bocagrande, El Centro, La Matuna, Getsemani, San Diego, El Cabrero, Marbella, Torices, Crespo, Chambacú, Pie de la Popa, Manga

02 Pie del Cerro, El Espinal, Lo Amador, Nariño, Torices, Pedro Salazar, San Pedro y Libertad, Los Comuneros, Petare, Paulo VI 1, Paulo VI 2, República del Caribe, Loma Fresca, Palestina, La Plaza, Paraíso, San Bernardo de Asís, Virgen del Carmen.

03 Canapote, Crespito, Daniel Lemaitre, Santa María, Siete de Agosto, San Francisco, San Bernardo. La Heroica, La Paz, 20 de Julio.

04 La María, La Quinta, Barrio Obrero, La Esperanza, Alcibia, Boston, La Candelaria.

05 Tesca Viejo, Tesca Nuevo, República del Líbano, Olaya Herrera, Chiquinquirá.

06 Olaya Herrera, Fredonia, Nuevo Paraíso, Las Américas, Villa Estrella, El Pozón.

07 13 de Junio, República de Venezuela, Las Gaviotas, Chipre, La Floresta, La Castellana, Los Alpes, El Gallo, Viejo Porvenir, San José Obrero, Nuevo Porvenir, Las Palmeras, Las Palmas.
Incluye los corregimientos La Boquilla, Punta Canoa, Pontezuela, Bayunca, Arroyo de Piedra y Arroyo Grande.

08 Zaragocilla, Escallón Villa, La Campiña, Los Calamares, Los Almendros, Camagüey, Los Ejecutivos, Los Ángeles, Barlovento, Los Laureles, Britania, Santillana de los Patios, El Country, La Troncal,

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Buenos Aires, Tacarigua, Villa Sandra 1, Villa Sandra 2, Cavipetrol, Las Delicias, El Carmen, El Rubí, La Gloria.

09 Barrio Chino, Martínez Martelo, El Prado, Bruselas, Amberes, España, Juan XXIII, Paraguay, Junín, La Gloria, Las Brisas, Nueva Granada, Nueve de Abril, José Antonio Galán, Piedra de Bolívar, Armenia, Mirador de Nuevo Bosque.

10 Nuevo Bosque, Alto Bosque, El Bosque, Los Cerros, República de Chile, San Isidro, Altos de San Isidro, Bosquecito.
Incluye los corregimientos de Barú, Bocachica, Caño del Oro, Leticia, Santa Ana, Tierra Bomba. Además, de las Islas de Isla Fuerte, Islas del Rosario y Archipiélago de San Bernardo,

11 Ceballos, Santa Clara, Policarpa, Albornoz, Arroz Barato, Puerta de Hierro, Bellavista, Libertador, 20 de Julio, Antonio José de Sucre.

12 Los Corales, Almirante Colon, Los Caracoles, El Socorro, Blas de Lezo, Santa Mónica, San Pedro, El Campestre.

13 Santa Lucía, El Recreo, La Concepción, Ternera, Anita, San José de los Campanos, Villa Rosita, La Providencia, Parque Heredia.

14 La Victoria, San Fernando, Simón Bolívar, 11 de noviembre, Villa Rubia, Jorge Eliecer Gaitán, María Cano, Camilo Torres, La Florida, Nueva Delhi, La Esmeralda 1, La Esmeralda 2, Los Santanderes, El Nazareno, El Silencio, Nueva Jerusalén, Nueva Villa Fanny, Sectores Unidos, La Sierrita, Nelson Mandela.

15 Villa Hermosa, Luis Carlos Galán, Cooperativo, San Pedro Mártir, El Reposo, La Victoria, Los Jardines, La Consolata, El Educador, Henequén.

99 No definido

8.5.1.3 EMPLAZAMIENTO

Representa el tipo de zona en la que se clasifica de 01 a la 09 pertenecen a espacio público, para su efecto se contempla dos (2) campos, toda vez que se antecede el digito cero (0) en aquellas del 1 al 9. Las categorías 10 y 11 pertenecen a otros emplazamientos.

01 Escenario deportivo
02 Parque
03 Paseo peatonal
04 Playa
05 Plaza
06 Zona verde No cualificada
07 Zona verde cualificada
08 Zona verde
09 Otro
10 Otros espacios del perímetro urbano
11 Manzanas catastrales
99 No definido

8.5.1.4 BIOTIPO

Representa si la identificación pertenece a un árbol o a una palma, para su efecto se contempla dos (2) campos, toda vez que se antecede el digito cero (0) en aquellas del 1 al 9.

01 Árbol

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

02 Palma

8.5.1.5 CÓDIGO ÚNICO ÁRBOL

El código único del árbol tendrá una extensión de siete (7) campos, toda vez que se antecede el digito cero (0) en aquellas del 1 al 9.

8.5.1.6 VALIDACIÓN

Este campo permitirá llevar un control de los árboles que se han verificado en campo identificando con 01, para su efecto se contempla dos (2) campos, toda vez que se antecede el digito cero (0) en aquellas del 1 al 9.

01 Verificado en campo
02 No validado

8.5.2 POSICIONAMIENTO (X, Y, Z)

Para calcular las coordenadas X Y, se empleó el modelo Yolov7, que realiza la identificación y su posterior vectorización de los árboles. Luego, utilizando herramientas de cálculo geométrico en el software ArcGIS Pro, se determinaron las coordenadas X Y del centroide de cada polígono identificado como árbol. Sin embargo, es importante señalar que en este proceso podrían surgir imprecisiones cartográficas, las cuales fueron corregidas mediante validación supervisada y, posteriormente, con la ayuda de la nube de puntos LiDAR, se ajustaron las coordenadas para reducir estas imprecisiones a menos de 3 metros.

Para calcular la altitud (variable Z) con respecto al nivel del mar, se generó un Modelo Digital de Terreno (MDT) a partir de la nube de puntos LiDAR. Luego, se cruzó esta información con los polígonos de árboles previamente generados y corregidos en etapas anteriores, lo que nos permitió obtener los valores de X, Y y Z de cada individuo.

8.5.3 ALTURA DEL ÁRBOL (H)

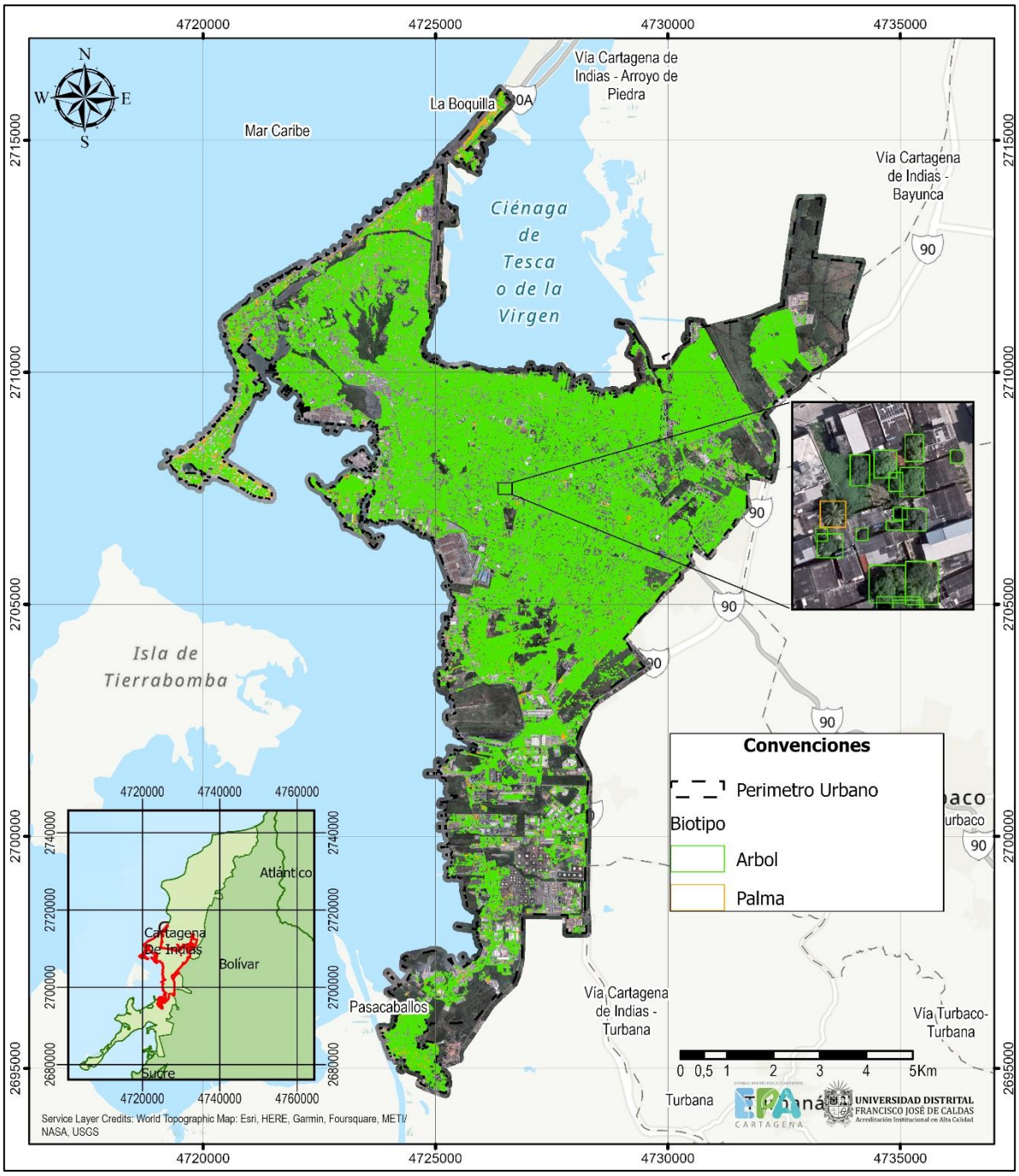
La asignación de alturas a los árboles se lleva a cabo mediante un proceso que comienza con la adquisición de nubes de puntos LiDAR, que se dividen en teselas. Estas teselas son posteriormente limpiadas y fusionadas para crear una única nube de puntos LiDAR. Luego, se procede a la normalización de esta nube de puntos utilizando un modelo digital de superficie, lo que resulta en alturas que reflejan la elevación real de los árboles y edificios en lugar de la altitud sobre el nivel del mar. A partir de esta nube normalizada, se genera un ráster que facilita la correlación espacial de los árboles identificados, permitiendo así la asignación precisa de alturas a cada uno de ellos.

8.5.4 ARBOLADO URBANO

El árbol urbano presenta 171.592 árboles y 14.751 palmas siendo más representativos los individuos arbóreos con un 92,08% mientras que las palmas representan un 7,92% del censo para un total de 186.344 árboles censados, como se observa en la Figura 16.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Figura 16. Censo de árbol urbano

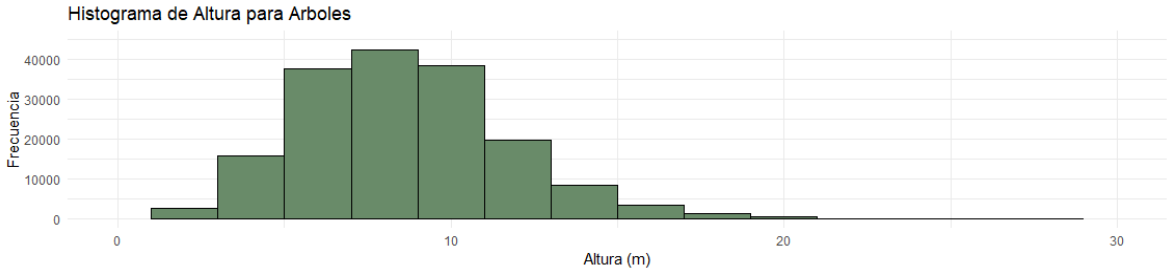


Fuente: Elaboración propia

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

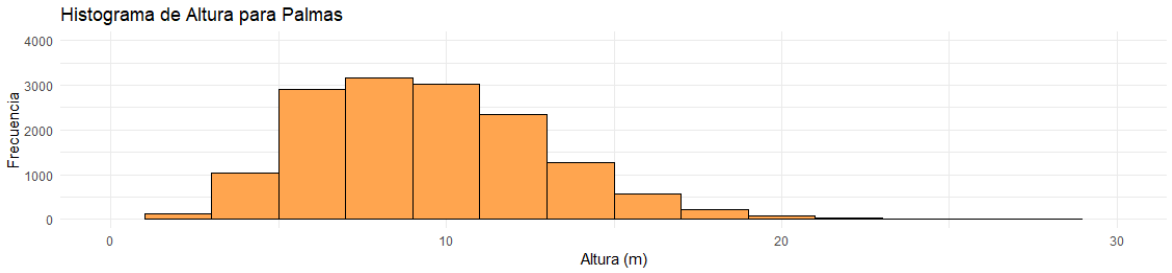
Por otro lado, las alturas del arbolado urbano varían entre 1 metros 27 metros, para las palmas la de menor tamaño es un 1 metro y el de mayor altura es de 24,3 metros y para los árboles se encuentran entre 1 a 27,93 metros. En la Figura 17 y Figura 18 se presentan el histograma de alturas para árboles y para palmas.

Figura 17. Histograma de alturas para arboles



Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Histograma de alturas para palmas



Fuente: Elaboración propia

En los histogramas se puede apreciar que la distribución de alturas de los árboles en el distrito es bimodal, con dos picos principales. El primer pico, más alto, se encuentra entre 10 y 20 metros de altura, y representa el 60% de los árboles censados. El segundo pico, más bajo, se encuentra entre 5 y 10 metros de altura, y representa el 40% de los árboles censados.

La distribución bimodal de las alturas de los árboles en Cartagena se puede explicar por dos factores principales. El primero es la diversidad de especies de árboles que se encuentran en el distrito. Algunas especies de árboles, como las palmeras, son naturalmente más altas que otras, como los árboles frutales. El segundo factor es la edad de los árboles. Los árboles más viejos tienden a ser más altos que los árboles más jóvenes.

Por último, también se muestra que la distribución de alturas de los árboles es diferente para los dos biotipos principales: árboles y palmas. Las palmas, en general, son más altas que los árboles. El 75% de las palmas censadas tienen una altura de 10 metros o más, mientras que solo el 50% de los árboles censados tienen una altura de 10 metros o más.

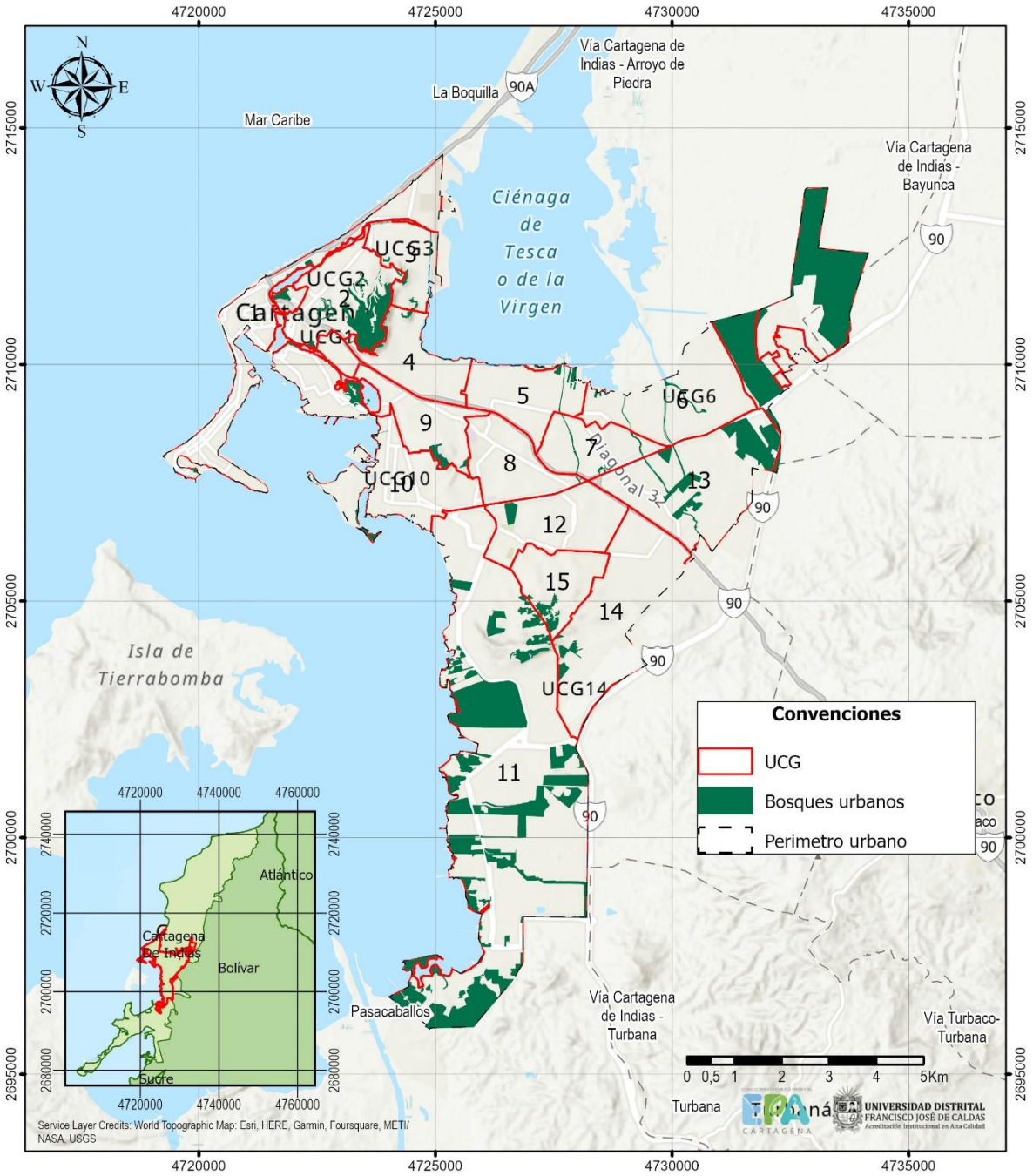
El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

8.5.5 BOSQUE URBANO

El bosque urbano se compone de zonas verdes urbanas estas cuentan con 1.438,67 ha dentro del perímetro urbano del Distrito de Cartagena, en la Figura 19 se evidencia la distribución de este bosque en el área de estudio.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Figura 19.Bosque urbano del Distrito de Cartagena



Fuente: Elaboración propia

8.6 CÁLCULO DE INDICADORES DEL CENSO DE ARBOLADO URBANO

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Para dar un análisis más completo, se elaboraron indicadores que proporcionan información esencial para comprender la distribución y calidad del arbolado urbano, permitiendo a las autoridades tomar decisiones informadas en términos de planificación urbana, conservación del entorno, y mejora de la calidad de vida de los residentes. Al desglosar los datos en función de los diferentes usos del suelo y divisiones administrativas, se obtiene una visión detallada que facilita la identificación de áreas con necesidades específicas de vegetación, permitiendo la implementación de políticas y estrategias específicas para cada contexto, contribuyendo a un entorno urbano más saludable, sostenible y atractivo.

8.6.1 USO DE SUELO POT

Se tomaron los usos del suelo descritos en el Decreto 0977 de 2001 "Por medio del cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias", se realizó un cruce de los usos del suelo urbano y de expansión urbana", donde estos se definen como "El uso urbano para ser aplicado a suelos urbanos y de expansión se refiere al común desenvolvimiento en espacios y edificaciones adecuadas, de las actividades residenciales, comerciales, institucionales, industriales, turísticas y portuarias y al disfrute del espacio público, adelantadas sobre terrenos y en edificaciones dispuestas, proyectadas y construidas con las especificaciones necesarias para tales fines, con intensidades diferenciales en su aplicación" (Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias D. T. y C., 2001), para interceptarlos con los árboles censados, a continuación en la Tabla 2 se muestra el número de árboles para los diferentes usos del suelo y en la Tabla 3 el número de hectáreas de bosques urbanos también con los usos asociados del perímetro urbano de Cartagena y en la Figura 20 se ve la distribución espacial de esos usos en el área de estudio.

8.6.1.1 ARBOLADO URBANO

Se observa que la mayoría de los árboles se encuentran en áreas de uso residencial tipo A, con un total de 70.653 árboles, lo que equivale al 37,92% del total, le sigue en cantidad el uso residencial tipo B, con 32.886 árboles, representando el 17,65% del censo realizado. En contraste, los usos económicos y mixtos 3 presentan una presencia mucho menor, con 24 y 32 árboles registrados respectivamente, lo que corresponde a tan solo el 0.01% y el 0.02% del total.

Tabla 2. Número de árboles según el uso del suelo.

Uso suelo POT 2001	Número de arboles	Porcentaje
Comercial 3	53	0,03%
Comercial 4	76	0,04%
Económica	24	0,01%
Industrial 2	327	0,18%
Institucional	252	0,14%
Institucional 2	1.244	0,67%
Institucional 3	5.035	2,70%
Institucional 4	581	0,31%
Mixta	120	0,06%
Mixto 2	11.719	6,29%

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

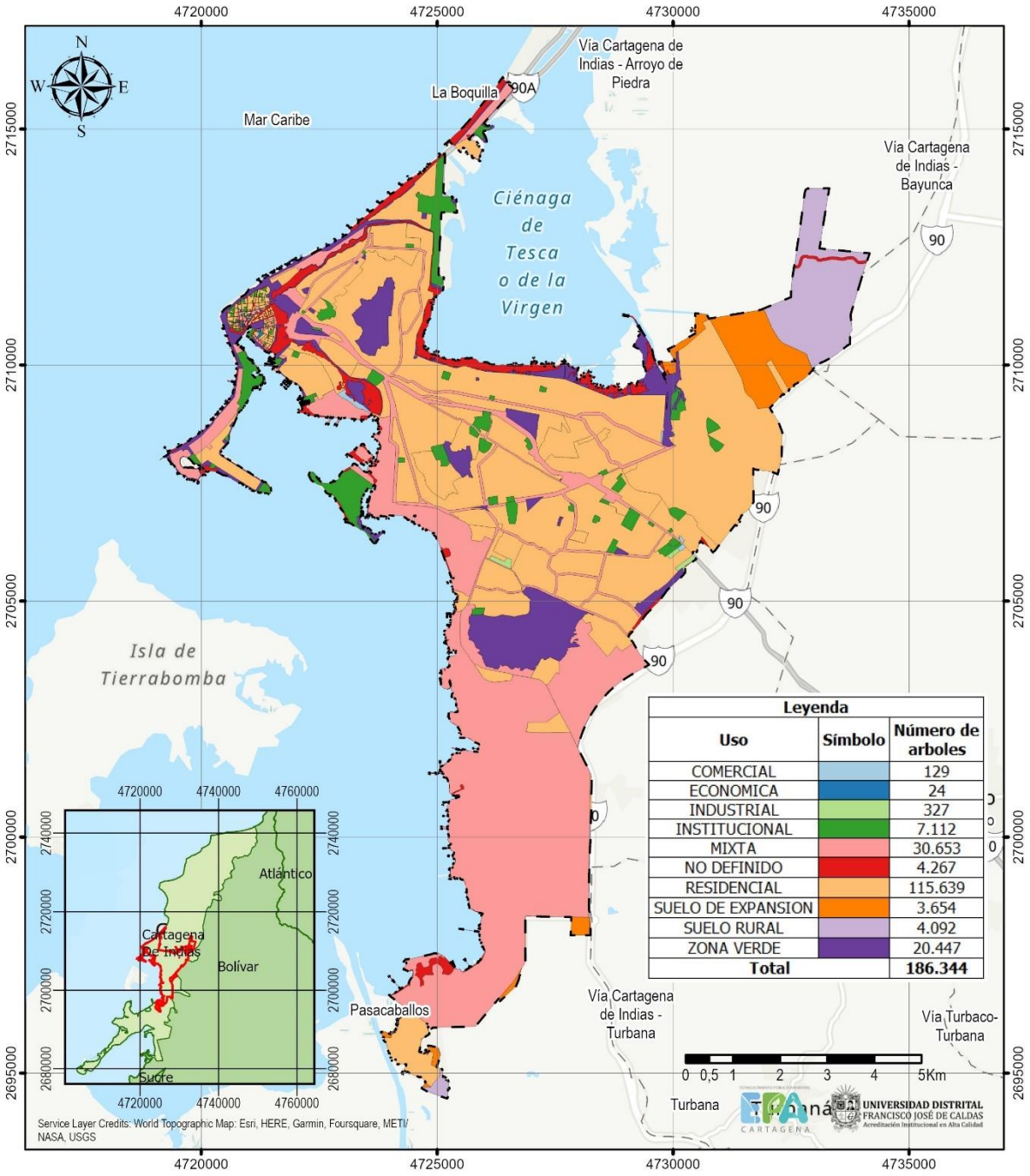
CIA 003 DE 2023

Uso suelo POT 2001	Número de arboles	Porcentaje
Mixto 3	32	0,02%
Mixto 4	7.422	3,98%
Mixto 5	11.360	6,10%
Residencial	715	0,38%
Residencial tipo a	70.653	37,92%
Residencial tipo b	32.886	17,65%
Residencial tipo c	5.169	2,77%
Residencial tipo d	6.216	3,34%
Suelo de expansión	56	0,03%
Suelo de expansión industrial	88	0,05%
Suelo de expansión urbana	3.510	1,88%
Suelo rural	4.092	2,20%
Zona verde	6.021	3,23%
Zona verde de protección	14.426	7,74%
No definido	4.267	2,29%
Total	**186.344**	**100%**

Fuente: Elaboración propia

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Figura 20. Árboles por usos del suelo POT vigente año 2001.



Fuente: Elaboración propia

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

8.6.1.2 BOSQUE URBANO

Se observa que la mayoría de los bosques urbanos se encuentran en áreas de uso mixto 5, con un total de 542,32 ha, lo que equivale al 37,70%, le sigue en cantidad el uso suelo rural 4, con 254,08 ha, representando el 17,66% de los bosques urbanos del perímetro urbano. En contraste, el uso comercial 4 y suelo de expansión industrial presentan una presencia mucho menor, con 1.23 y 5.41 hectáreas respectivamente, lo que corresponde a tan solo el 0.09% y el 0.38% del total, en la Figura 21 se pueden observar los bosques urbanos y los usos asignados según el POT gráficamente.

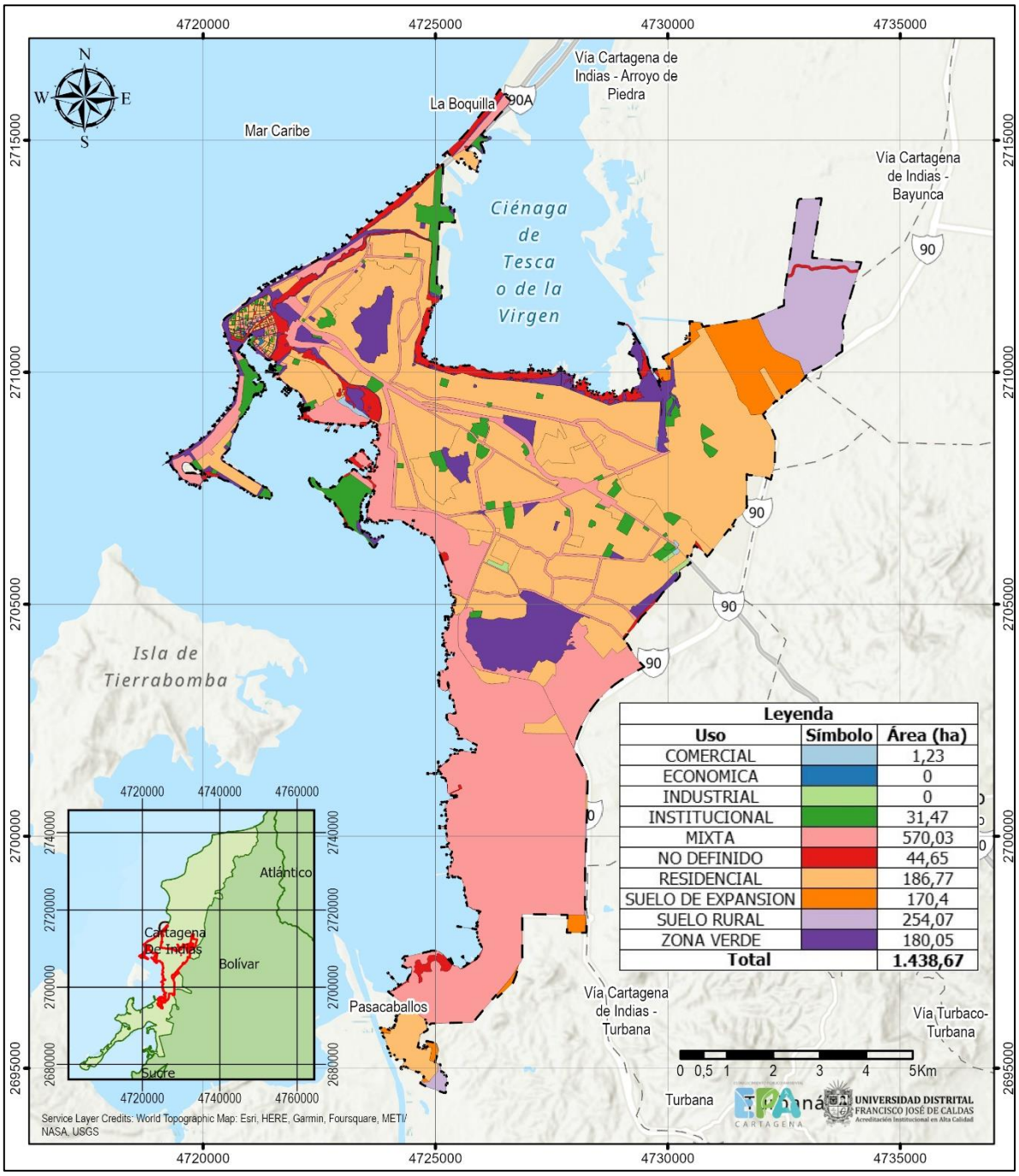
Tabla 3. Bosques urbanos según usos del suelo POT 2001.

Uso del suelo POT 2001	Área (ha)	Porcentaje
Comercial 4	1,23	0,09%
Institucional 2	12,52	0,87%
Institucional 3	18,95	1,32%
Mixto 2	8,04	0,56%
Mixto 4	19,67	1,37%
Mixto 5	542,32	37,70%
Residencial Tipo A	172,17	11,97%
Residencial Tipo B	6,95	0,48%
Residencial Tipo C	7,65	0,53%
Suelo De Expansión Industrial	5,41	0,38%
Suelo De Expansión Urbana	164,99	11,47%
Suelo Rural	254,08	17,66%
Zona Verde	20,02	1,39%
Zona Verde De Protección	160,03	11,12%
No Definido	44,65	3,10%
Total	**1.438,67**	**100%**

Fuente: Elaboración propia

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Figura 21. Bosque urbano por usos del suelo POT 2001.



Fuente: Elaboración propia

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

8.6.2 LOCALIDADES

El Distrito de Cartagena se compone de 3 localidades, la Localidad 1, conocida como 'Histórica y del Caribe Norte', es el corazón histórico y cultural de Cartagena, donde sus calles empedradas, plazas y murallas evocan la rica historia colonial de la ciudad. Por otro lado, la Localidad 2, 'De la Virgen y Turística', se destaca por sus hermosas playas, zonas turísticas y vibrante vida nocturna, atrayendo a visitantes de todo el mundo. Mientras tanto, la Localidad 3, 'Industrial y de la Bahía', alberga importantes sectores industriales y portuarios, contribuyendo al dinamismo económico de la ciudad. A continuación, se realiza el análisis de la cantidad de árboles por localidad, además de las hectáreas de bosque urbano dentro de las mismas.

8.6.2.1 ARBOLADO URBANO

La localidad que presenta mayor cantidad de árboles es la Industrial de la Bahía con 78.060 que representan el 41,89%. Esto se debe a que es la localidad que más extensión tiene, y presenta gran cantidad de viviendas que tienen arbolado urbano presente. Por otro lado, el perímetro urbano de Cartagena de Indias cuenta con un promedio de 22 árboles por hectárea y la localidad que mayor densidad presenta es de la virgen y turística con 27 árboles por hectárea.

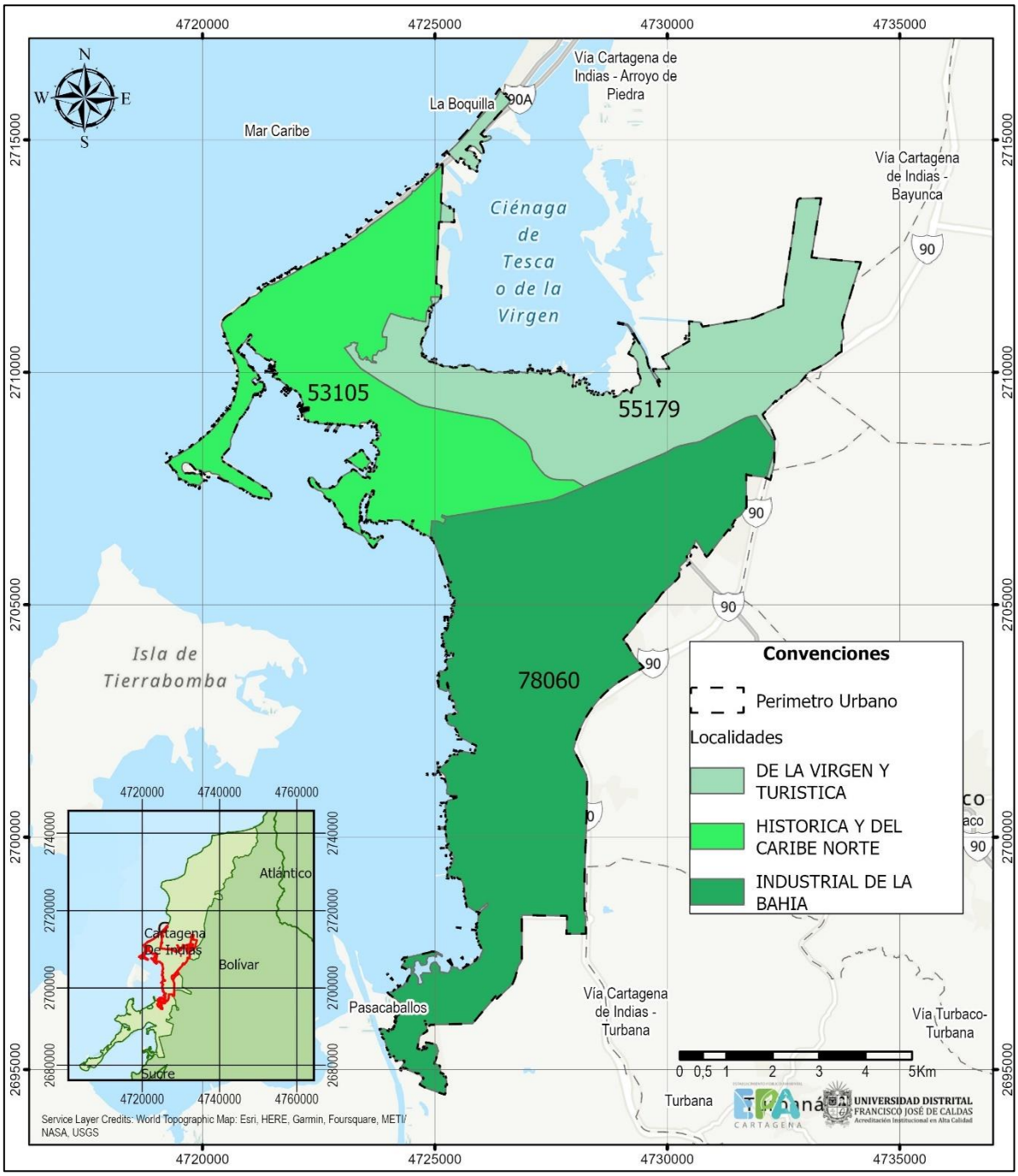
Tabla 4. Número de árboles por localidad.

Localidad	Número de arboles	Porcentaje	Área (ha)	Número de árboles por hectárea
Localidad de la Virgen y Turística	55.179	29,61%	2.037,41	27
Localidad Histórica y del Caribe Norte	53.105	28,50%	2.277,08	23
Localidad Industrial de la Bahía	78.060	41,89%	4.286,47	18
Total	**186.344**	**100%**	**8.600,96**	**22**

Fuente: Elaboración propia

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Figura 22. Número de árboles por localidades



Fuente: Elaboración propia.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

8.6.2.2 BOSQUE URBANO

En cuanto al universo de Bosque urbano, se evidencia la predominancia de las zonas de vegetación en la zona industrial de la bahía al tener 764,86 ha las cuales representan un 53,16% del área total de vegetación en el Distrito de Cartagena.

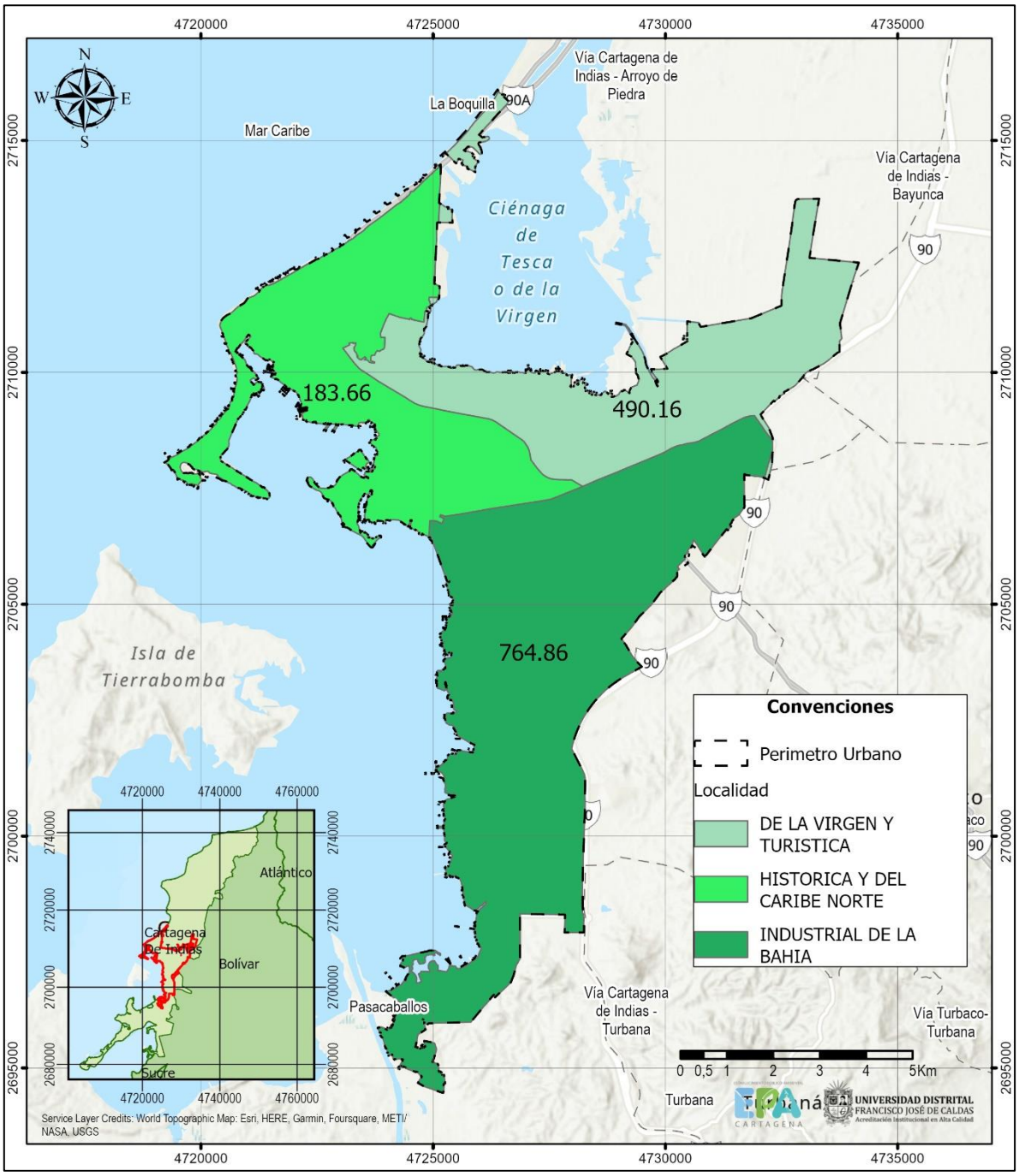
Tabla 5. Bosque urbano por localidad.

Localidad	Área (ha)	Porcentaje
Virgen y Turística	490,16	34,07%
Histórica y del Caribe Norte	183,66	12,77%
Industrial de la Bahía	764,86	53,16%
Total	**1.438,67**	**100%**

Fuente: Elaboración propia

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Figura 23. Bosque urbano por localidades.



Fuente: Elaboración propia.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

8.6.3 UNIDADES COMUNERAS DE GOBIERNO

Además de su división política por localidades, el Distrito de Cartagena de Indias presenta una segunda estructura administrativa conformada por quince Unidades Comuneras de Gobierno (UCG). A continuación, procederemos a realizar un análisis, examinando tanto el número de árboles como la extensión en hectáreas de bosque urbano identificados en cada una de estas Unidades Comuneras. Este enfoque permitirá entender la distribución y la importancia de los recursos naturales en las diferentes áreas administrativas de la ciudad.

8.6.3.1 ARBOLADO URBANO

Dentro de las Unidades Comuneras de Gobierno UGC 11 y UGC 6 sobresalen por albergar la mayor cantidad de árboles individuales, representando un 14,68% y un 13,31% de los árboles urbanos individuales respectivamente. Este fenómeno se explica por el hecho de que estas unidades cuentan con una mayor extensión de tierra y un mayor grado de desarrollo urbanístico, lo que favorece la presencia de árboles en sus áreas. En contraste, las UCG 3, con un 2,23%, y las UCG 4, con un 4,51%, presentan un menor número de árboles, ya que son localidades de menor tamaño en comparación con las UCG 11 y 6.

Por otro lado, se tiene que las unidades con mayor número de árboles por hectárea son 5, 8 y 12 con 33 árboles, mientras que la que menos arboles tienen por hectárea son la 11, 13 y 2 con valores de 12, 16 y 19 respectivamente, ahora bien, para todo el perímetro urbano se tiene que por hectárea se cuenten con 22 árboles.

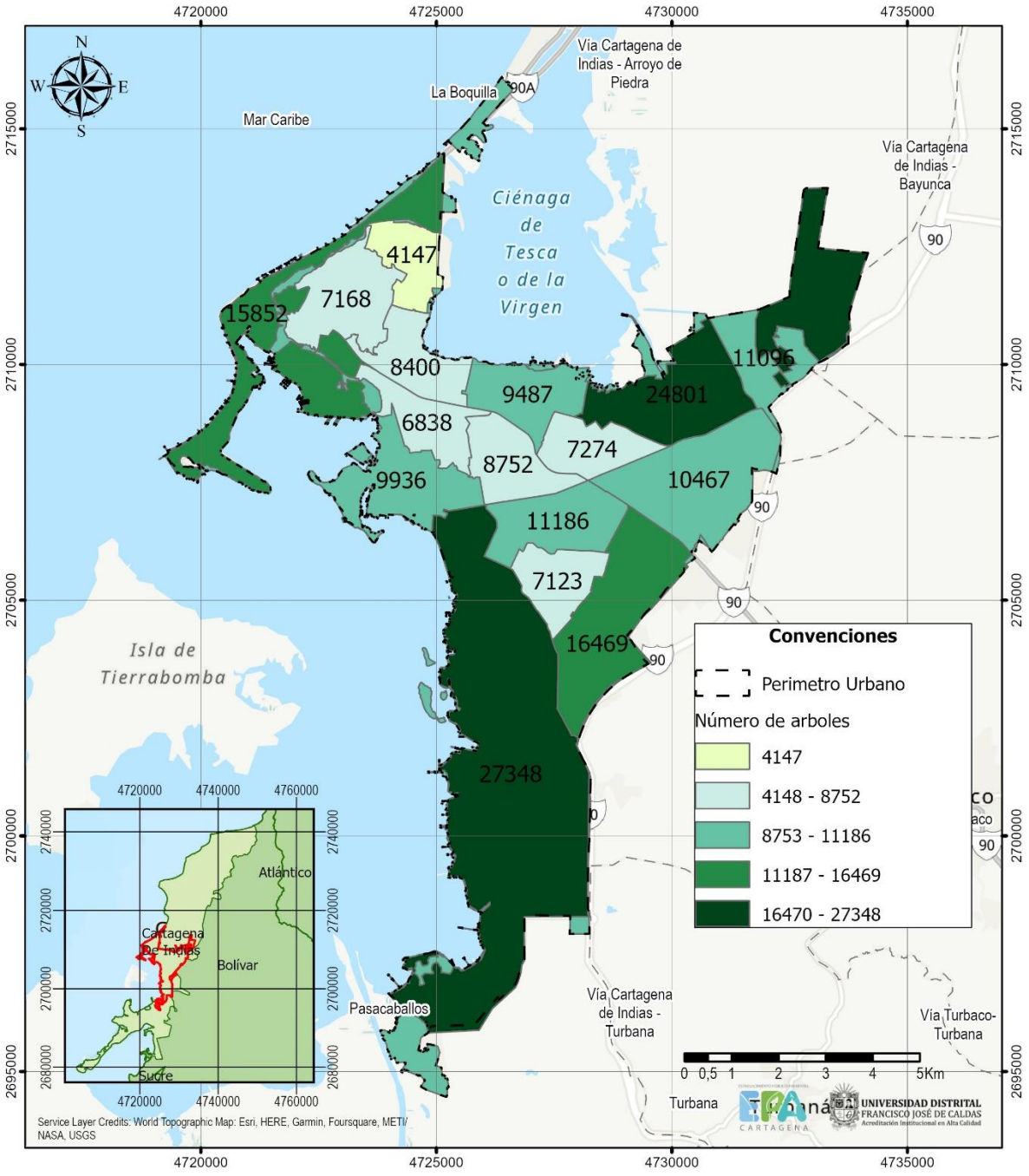
Tabla 6. Número de árboles por unidad comunera de gobierno.

UCG	Número de arboles	Área (ha)	Porcentaje	Número de árboles por hectárea
1	15.852	742,20	8,51%	21
2	7.168	367,80	3,85%	19
3	4.147	202,06	2,23%	21
4	8.400	260,88	4,51%	32
5	9.487	291,77	5,09%	33
6	24.801	922,26	13,31%	27
7	7.274	228,61	3,90%	32
8	8.752	268,59	4,70%	33
9	6.838	239,67	3,67%	29
10	9.936	419,49	5,33%	24
11	27.348	2.331,99	14,68%	12
12	11.186	338,92	6,00%	33
13	10.467	634,69	5,62%	16
14	16.469	625,55	8,84%	26
15	7.123	230,57	3,82%	31
No definido	11.096	495,91	5,95%	22
Total	**186.344**	**8.600,96**	**100%**	**22**

Fuente: Elaboración propia.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Figura 24. Número de árboles por Unidad comunera de gobierno.



Fuente: Elaboración propia.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

8.6.3.2 BOSQUE URBANO

Dentro del bosque urbano, la distribución de vegetación muestra una notable concentración del 70,93% en las UCG 6 y UGC11. Estas áreas se caracterizan por estar bordeadas por el Canal del Dique y el Mar Caribe, lo que facilita el acceso al agua, tanto para el riego como para el consumo de las plantas, lo que influye en su desarrollo saludable. Además, en las UCG 6 y 11, se observa una activa presencia de actividades humanas que fomentan el crecimiento de la vegetación urbana. Estas actividades incluyen el cultivo de plantas ornamentales, la arborización de calles y avenidas, lo que contribuye significativamente a la vegetación en el bosque urbano de la zona.

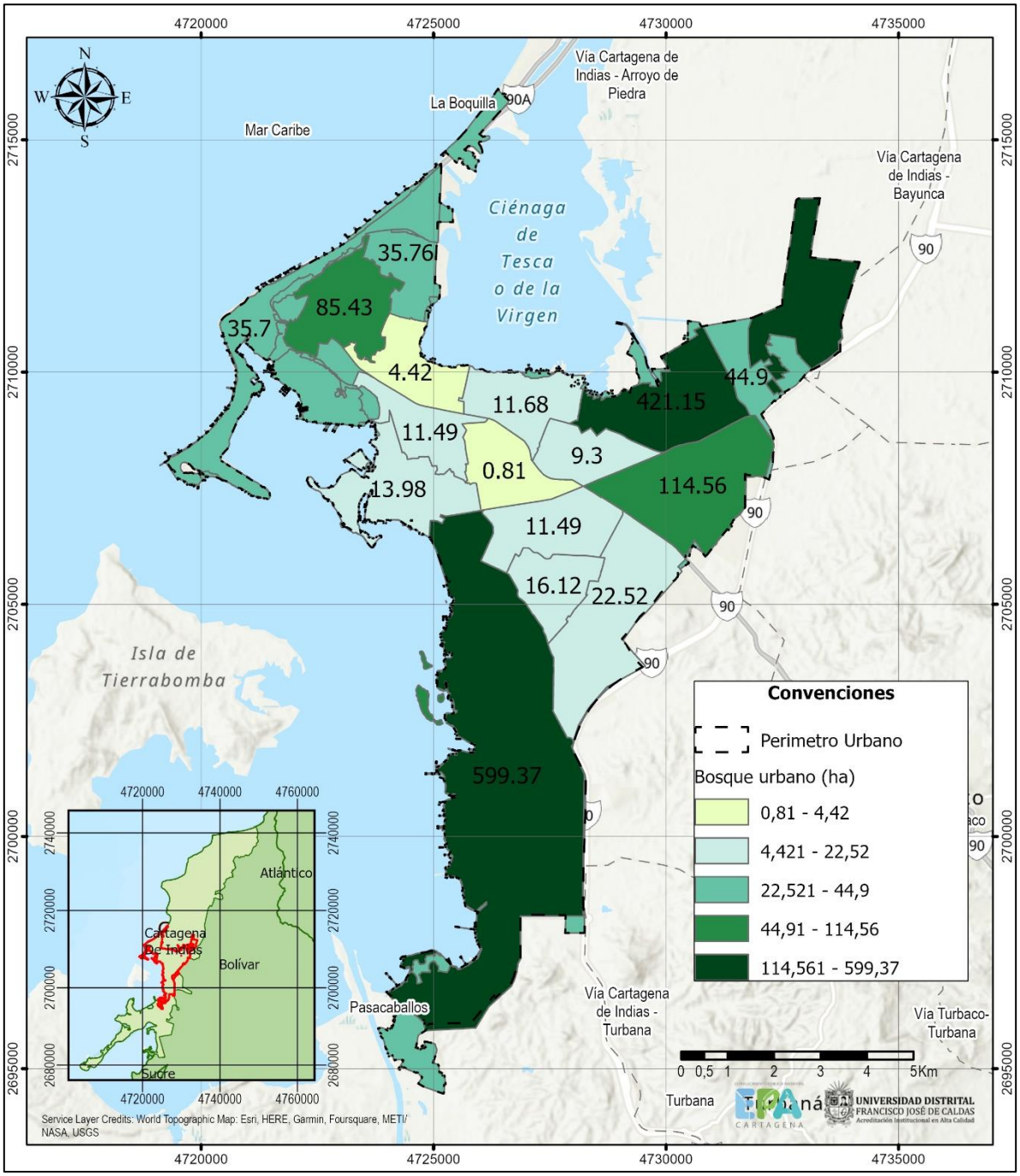
Tabla 7.Bosque urbano por unidad comunera de gobierno.

UCG	Área (ha)	Porcentaje
1	35,70	2,48%
2	85,43	5,94%
3	35,76	2,49%
4	4,42	0,31%
5	11,68	0,81%
6	421,15	29,27%
7	9,30	0,65%
8	0,81	0,06%
9	11,49	0,80%
10	13,98	0,97%
11	599,37	41,66%
12	11,49	0,80%
13	114,56	7,96%
14	22,52	1,57%
15	16,12	1,12%
No definido	44,90	3,12%
Total	**1438,67**	**100%**

Fuente: Elaboración propia.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Figura 25. Índice de bosque urbano por Unidad comunera de gobierno.



Fuente: Elaboración propia.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

8.6.4 EMPLAZAMIENTOS

El ultimo análisis generado se realizó para lo que se comprenderá en el espacio público definido en el POT del 2001 por el Distrito de Cartagena el cual se está constituido "por los espacios que suplen las necesidades básicas de encuentro, congregación, disfrute y recreación de los ciudadanos. Corresponden a los siguientes elementos: parques urbanos, zonas de cesión obligatoria al municipio, plazas, plazoletas, escenarios deportivos, escenarios culturales y de espectáculos al aire libre. También se incluyen las áreas para la conservación de obras de interés público y áreas complementarias a los inmuebles patrimoniales. A su vez, estos espacios públicos se dividen en áreas de especial interés ambiental, científico y paisajístico" (Alcaldía Distrital de Cartagena de Indias, 2023).

Y la segunda categoría es otros emplazamientos que comprende los espacios que no hacen parte de espacios públicos, así mismo según (DANE & JBB, 2006) los emplazamientos son un nombre otorgado al sitio de siembra donde se ubica el árbol urbano, está dividido en tres (3) emplazamientos, así: Otros espacios del perímetro urbano (espacios entre los espacios públicos y manzanas catastrales), manzanas catastrales (shapefile de manzanas catastrales) y un emplazamiento sin definición (espacio que no se encuentra entre manzanas ni terrenos).

8.6.4.1 ARBOLADO URBANO

Las manzanas catastrales se definen como áreas urbanas que están delimitadas por calles o avenidas y que incluyen viviendas y comercios de uso mixto. Esta configuración permite un desarrollo más extenso de áreas verdes, con árboles distribuidos en jardines y calles. Este tipo de emplazamiento se destaca al representar un significativo 62,80% de la cobertura vegetal en el área, lo que subraya su contribución a la preservación y el aumento de la vegetación en el entorno urbano.

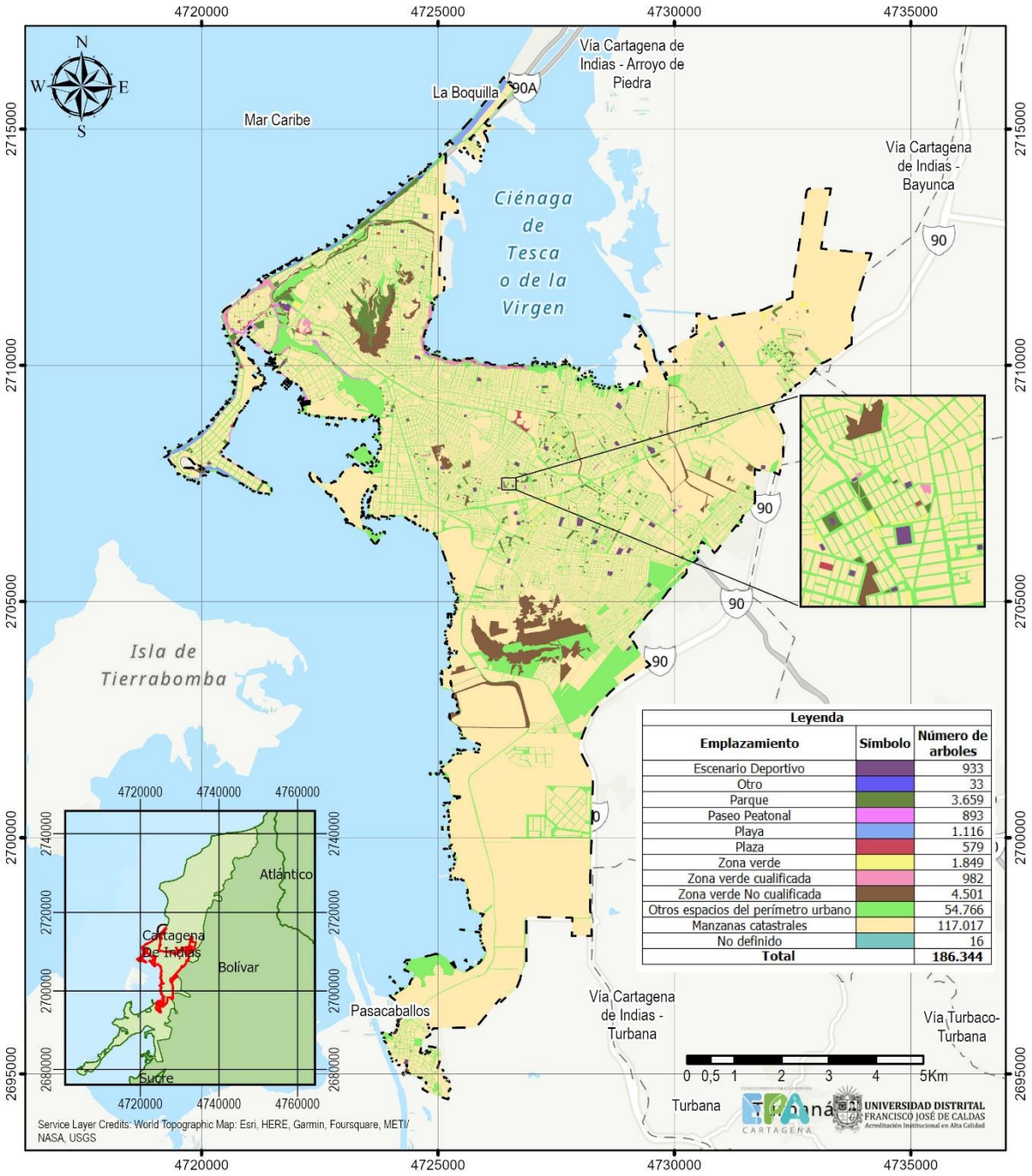
Tabla 8. Número de árboles por emplazamiento.

Emplazamiento		Número de arboles	Porcentaje
Espacio Público efectivo	Escenario Deportivo	933	0,50%
	Otro	33	0,02%
	Parque	3.659	1,96%
	Paseo Peatonal	893	0,48%
	Playa	1.116	0,60%
	Plaza	579	0,31%
	Zona verde	1.849	0,99%
	Zona verde cualificada	982	0,53%
	Zona verde No cualificada	4.501	2,42%
Otros emplazamientos	Otros espacios del perímetro urbano	54.766	29,39%
	Manzanas catastrales	117.017	62,80%
	No definido	16	0,01%
Total		186.344	100%

Fuente: Elaboración propia.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Figura 26. Emplazamientos del Distrito de Cartagena.



Fuente: Elaboración propia.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

8.6.4.2 BOSQUES URBANOS

En el contexto del bosque urbano, las manzanas representan un notable 74,83% de la cobertura total de vegetación. Les sigue la zona verde no cualificada, que contribuye con un 12,72% de la vegetación presente en el área. Este análisis resalta la importancia de las manzanas como componente principal en la preservación y expansión de la vegetación en el bosque urbano, seguidas de cerca por las áreas no cualificadas de zona verde.

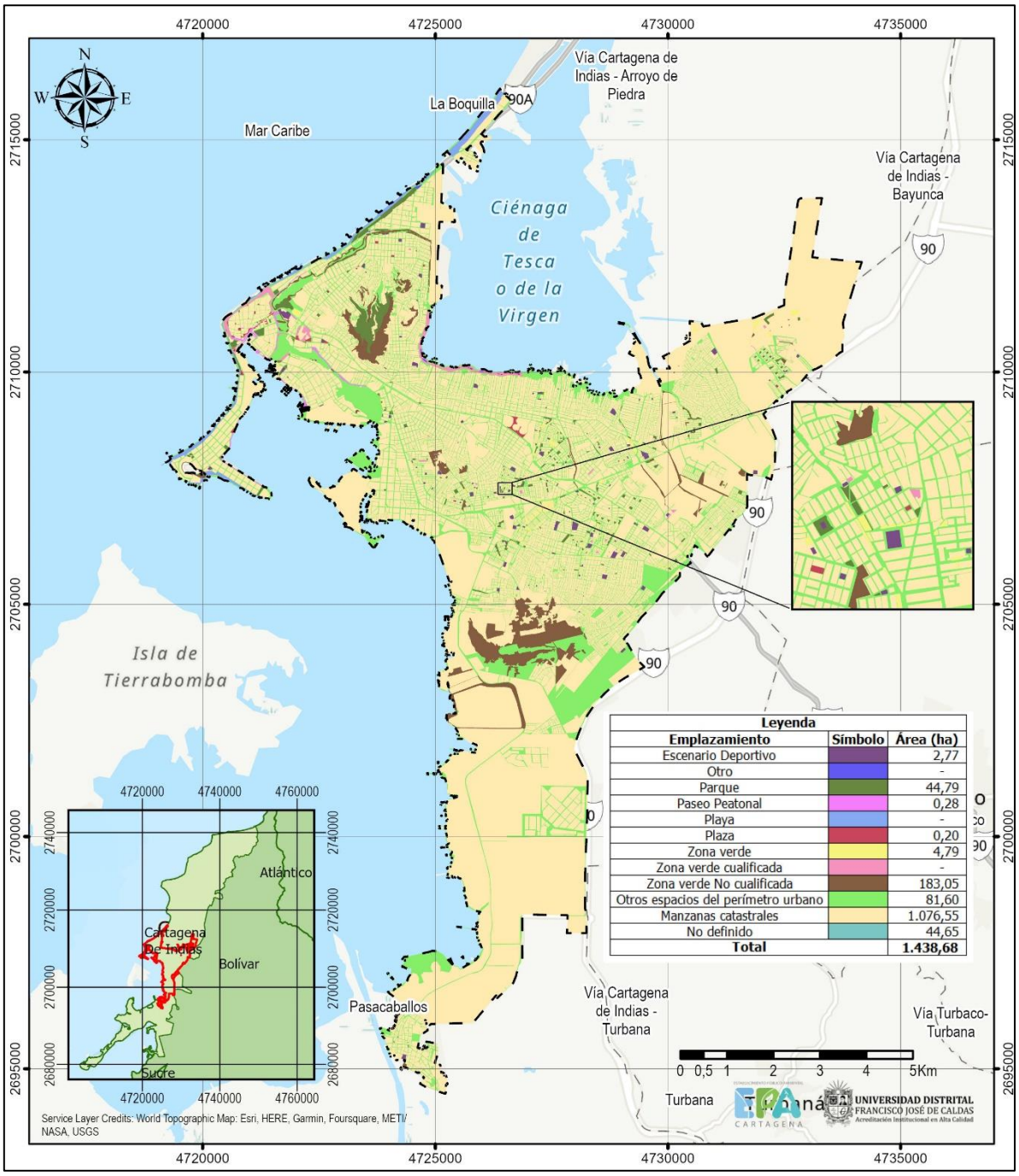
Tabla 9. Índice de bosque urbano por emplazamiento.

Emplazamiento		Área (ha)	Porcentaje
Espacio Público Efectivo	Escenario Deportivo	2,77	0,19%
	Parque	44,79	3,11%
	Paseo Peatonal	0,28	0,02%
	Plaza	0,20	0,01%
	Zona verde	4,79	0,33%
	Zona verde No cualificada	183,05	12,72%
Otros emplazamientos	Otros espacios del perímetro urbano	81,60	5,67%
	Manzanas catastrales	1076,55	74,83%
	No definido	44,65	3,10%
Total		**1438,67**	**100%**

Fuente: Elaboración propia.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Figura 27. Bosque urbano por otros emplazamientos



Fuente: Elaboración propia.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

8.7 VALIDACIÓN DEL CENSO FORESTAL EN CAMPO

Debido a que el alcance del presente Censo no comprende una etapa en campo, se presenta en el siguiente apartado, una propuesta metodológica para la validación del censo, ya que este permitirá complementar la identificación de individuos para el caso del universo de árbol urbano, y dará una base sólida de pre muestreo en el universo de bosque urbano ya que este no presenta muestreos estadísticos representativos en campo.

De esta forma, para garantizar una representatividad, se propone un muestreo estadístico estratificado, agrupando áreas en función del comportamiento de la vegetación teniendo en cuenta las características descritas en el capítulo 7. Esto permite seleccionar muestras que reflejen de manera más precisa la homogeneidad deseada, tal como lo sugieren (Matteucci & Colma, 1982).

Una vez, identificados los grupos y estratos a muestrear, se debe evaluar la variación de cada grupo teniendo en cuenta tres inventarios previamente realizados en el área urbana, como el inventario realizado para el proceso Mantenimiento y para los Aliados Comerciales que desarrollen actividades de gestión de poda y tala de árboles, el censo de arbolado urbano de la ciudad realizado por Caribe mar De La Costa S.A.S. E.S.P y la información de la renovación de licencia de REFICAR del año 2019.

De acuerdo con lo anterior, se propone utilizar estos valores como un pre-muestreo para evaluar de manera preliminar la intensidad de la muestra mediante la siguiente formula:

$$n = \frac{t^2 CV^2}{E^2 + \frac{4CV^2}{N}}$$

Donde:

- n es el tamaño de la muestra necesario (individuos o parcelas)
- N es el tamaño total de la población (individuos o parcelas)
- CV es el coeficiente de variación de la variable de interés (CV de la altura)
- t son los grados de libertad de la distribución de t de student
- E es el error de muestreo

8.7.1 ÁRBOL URBANO

Los datos de variación de alturas de árboles urbanos en Cartagena, presentados en los inventarios 1 y 2 presentan varianzas similares en ambos inventarios, alrededor de 11, lo que indica una relativa homogeneidad en la distribución de alturas. Las medias de altura para ambos inventarios son cercanas, alrededor de 10.2 metros, con desviaciones estándar de alrededor de 3.3 metros, lo que sugiere una dispersión moderada de los datos. El coeficiente de variación (CV%) indica que la variabilidad relativa en las alturas es similar en ambos inventarios, alrededor del 32%.

Tabla 10.Comportamiento de las alturas en árbol urbano

CARACTERIZACIÓN	INVENTARIO 1	INVENTARIO 2
Cantidad pre-muestreo	2.994	8.256
Varianza	11,16	11,03

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Media	10,23	10,27
Desviación estándar	3,34	3,32
CV%	32,65	32,33

Fuente: Elaboración propia

De esta forma, se toma como marco de referencia el artículo 10 del (Decreto 1791 de 1996, 1996) en el cual se establece que un inventario estadístico para todas las especies a partir de diez centímetros (10 cm) de diámetro a la altura del pecho (DAP), se debe presentar con una intensidad de muestreo de forma tal que el error no sea superior al quince por ciento (15%) con una probabilidad del noventa y cinco por ciento (95%). Y se obtiene una intensidad muestreal de 150.

8.7.2 BOSQUE URBANO

En la mayoría de los estudios de la vegetación no es operativo enumerar y medir todos los individuos de la comunidad, por ello hay que realizar muestreos de la misma y estimar el valor de los parámetros de la población. Aunque fuera posible localizar y medir todas las unidades de población, en cuyo caso se obtendría el valor del parámetro y no su estimación, la información obtenida no sería más útil ni más significativa que la derivada de un muestreo adecuado. (Matteucci & Colma, 1982)

De acuerdo con el concepto anterior, el bosque urbano al tener una conceptualización ecológica se evaluó por parcela según su tipo de vegetación como se muestra en la Tabla 11.En el cual se evidencia la importancia de evaluar por separado ya que presentan variabilidad de las alturas de los árboles entre los tres tipos de vegetación. El manglar muestra la mayor variabilidad, seguido de la vegetación secundaria, mientras que el bosque ripario o de galería muestra la menor variabilidad en las alturas de los árboles. Por lo tanto teniendo en cuenta su área identificada no contiene un pre muestreo valido para todo el Distrito de Cartagena, se plantean 5 parcelas para cada tipo de cobertura.

Tabla 11.Comportamiento de alturas en bosque urbano

PARÁMETRO	TIPO DE VEGETACIÓN		
	Manglar	Bosque ripario o galería	Vegetación secundaria
Cantidad pre muestreo (parcelas)	12,00	3,00	3,00
Varianza	4,51	0,71	1,79
Media	8,09	7,78	8,12
Desviación estándar	2,22	1,03	1,64
CV%	27,42	13,28	20,15

Fuente: Elaboración propia

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

9. BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía de Medellín. (2021). *Sistema de Información del arbolado Urbano de Medellín, SAU*. https://www.medellin.gov.co/sau/

Alcaldía de Medellín. (2023). *Sistema de Árbol Urbano - SAU*. https://www.medellin.gov.co/es/secretaria-medio-ambiente/medellin-biodiversa/sistema-de-arbol-urbano/

Alcaldía de Santiago de Cali. (2019). *Censo Arbóreo de Santiago de Cali*. Datos Abiertos Cali. http://datos.cali.gov.co/dataset/censo-arboreo-de-santiago-de-cali

Alcaldía Distrital de Cartagena de Indias. (2023). *Documento técnico de soporte del componente general del plan de ordenamiento territorial*.

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2010). *Decreto 531 de 2010*. https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40983

Decreto 0977 "Por medio del cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias," (2001).

Canales, A. M., Franco-Maass, S., Agramont, A. R. E., & Akerberg, V. Á. (2018). Characterization of the understory in dense pine and fir forests of the Nevado de Toluca. *Madera Bosques*, *24*(3). https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431656

Chacon Paramo, A. (2020). *DIAGNÓSTICO PARA LA ELABORACIÓN DEL CATASTRO ARBÓREO DEL BARRIO KENNEDY EN EL MUNICIPIO DE GIRARDOT CUNDINAMARCA.* [Universidad de Cundinamarca]. www.ucundinamarca.edu.co

DANE. (2009). *Censo del Arbolado Urbano Bogotá D.C,* https://microdatos.dane.gov.co/catalog/32/study-description

DANE. (2014). *Censo del Arbolado Urbano Bogotá D.C, - CAU 2005 - 2007*. http://www.nesstar.org/rdf/common

DANE, & JBB. (2006). *MANUAL DEL CENCISTA Y AUXILIAR CENSO DEL ÁRBOL URBANO DE BOGOTÁ D.C.*

Decreto 1791 de 1996, Pub. L. No. DECRETO, https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1296 (1996).

E.P.A Barranquilla Verde. (2022). *Diagnóstico del arbolado urbano en Barranquilla*.

Escobar Manrique, E., & Álvarez León, R. (2002). Caracterización de la vegetación en algunas áreas de la zona industrial de Mamonal, Cartagena (Caribe Colombiano). *Colombia Forestal*, *7*.

ESRI. (2023a). *Generate Tessellation (Data Management)*. ArcGIS Pro Documentation. https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/data-management/generatetesellation.htm

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

ESRI. (2023b). *Introduction to deep learning*. ArcGIS Pro | Documentation. https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/deep-learning/what-is-deep-learning-.htm

FAO. (2016). *Guidelines on urban and peri-urban forestry*.

Fernández, M. (2013). *Relaciones entre las especies arbóreas, sus características morfológicas y los tipos de suelo, y las afectaciones en la infraestructura vial de la ciudad de Bogotá*. Pontificia Universidad Javeriana.

MMA, & PNUMA. (2020). *Informe general. Estudio florístico y vegetacional en el área del Proyecto GEF Corredores Biológicos de Montaña.* http://fundacionphilippi.cl/sites/default/files/guia_de_briofitas_corma

Gobierno de Argentina. (2020). *Lanzamiento del Censo de Arbolado Público - AM Mendoza*. Lanzamiento Del Censo de Arbolado Público - AM Mendoza. https://www.argentina.gob.ar/noticias/lanzamiento-del-censo-de-arbolado-publico-am-mendoza

IDEAM, & UDFJC. (2023). *Guía metodológica para calificar el potencial de sostenibilidad de ciudades en Colombia* (J. E. Ussa, A. Ariza, & K. E. Parra, Eds.). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Jardín Botánico de Bogotá. (2023). *Sistema de Información para la Gestión del Arbolado Urbano -*. https://jbb.gov.co/aplicacion-del-conocimiento/sistema-de-informacion-para-la-gestion-del-arbolado-urbano/

Lagiglia, F. (2023). *Luego de tres años, presentaron los datos del censo de arbolado público: cuántos tiene Mendoza y cuántos más podría tener*. MDZ. https://www.mdzol.com/sociedad/2023/8/15/luego-de-tres-anos-presentaron-los-datos-del-censo-de-arbolado-publico-cuantos-tiene-mendoza-cuantos-mas-podria-tener-360864.html

Lecun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. In *Nature* (Vol. 521, Issue 7553, pp. 436–444). Nature Publishing Group. https://doi.org/10.1038/nature14539

Manna, L., Buduba, C., Irisarri, J., & Valenzuela, F. (2004). VERTISOLES EN LOS BOSQUES DE AUSTROCEDRUS CHILENSIS. *Científica Agropecuaria, 8*.

Matteucci, S. D., & Colma, A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación*. https://www.researchgate.net/publication/44553298

Mendoza, H. (2008). *Compilación de los inventarios RAP de vegetación en Colombia*.

Acuerdo-Ministerial-N°-018, Pub. L. No. Acuerdo Ministerial No. 018 (2016). https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/02/Acuerdo-Ministerial-N%C2%B0-018.pdf

Morales Manilla, L. M., Hernández Magaña, A. I., Arizaga Pérez, S., Coba Pérez, P. C., García Martínez, C. B., Vargas Ramírez, N., & Ramírez de Arellano, F. (2018). *Inventario del Arbolado Público Urbano de la Zona Metropolitana de Guadalajara*.

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.

Reforestamos. (2019). *Análisis Estados y Municipios prioritarios TCOW*. https://www.arbolesyciudades.org/_files/ugd/319034_70b03b0fa18b4dffbbabe62aad83dd39.pdf

Universidad de Cartagena. (2022). *Especies silvestres que nos acompañan en el distrito de Cartagena de Indias* (A. Bermúdez Tobón, Ed.; Vol. 1).

Universidad del Tolima, & CORTOLIMA. (2015). *Cartilla informativa: censo arbolado urbano de la ciudad de Ibagué comuna 4.*

El presente documento y su contenido son propiedad intelectual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Establecimiento Publico Ambiental – EPA Cartagena, está prohibida su reproducción total o parcial, inclusión y/o transmisión, sin autorización expresa previa y escrita de la entidad mencionada.