

Plan Árbol

Fase 1

Construcción de una Geodatabase del Arbolado de Quito

COLEGIO DE ARQUITECTOS DEL ECUADOR

Pablo Moreira Viteri, Arq.

Presidente

ENTIDAD COLABORADORA DE PROYECTOS ECP

Felipe Corral, Arq.

Director Ejecutivo

COORDINACIÓN DEL PROYECTO

Paulina Cubillo B., MSc, Ing.

Coordinadora CIUQ

CARRERA DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS GEOESPACIALES - ESPE

Docentes Participantes

MSc. Ing. Alexander Robayo - Coordinación docentes

Ing. Eduardo Kirby - Sensores Remotos y Fotogrametría

Ing. MSc. César Leiva - Cartografía y Geodesia

Ing. Izar Sinde - Cartografía y Topografía

Ing. Pablo Pérez - Vinculación con la Comunidad

Alumnos

Katherine Valverde - Coordinación Estudiantes

Karen Albarracín, Marco Amaluisa, Kevin Apolo, Gonzalo Araujo, Gabriel Ayala,

Galo Bastidas, Wendy Campaña, Danny Díaz, Stephany García, Carolina García,

Darío Guaña, Miryan Guisha, Esteban Herrera, Santiago Jaramillo, Brayan

Morales, Emilia Naranjo, Jonathan Puente, Christopher Suquillo, Jessica Vilca.



Construcción de una Geodatabase del Arbolado de Quito

1. Introducción

La adecuada gestión del arbolado de la ciudad, requiere de un inventario confiable y sistematizado que permita no solamente conocer su ubicación, sino también que nos brinde información acerca de cuántas especies e individuos existen, su estado actual, cómo se encuentran respecto del mantenimiento que se le brinda, es decir, contar con información que permita identificar parámetros a nivel individual, orientada a su monitoreo y evolución en el tiempo, con miras a generar políticas públicas adecuadas.

Por otra parte, los avances en las tecnologías de sensores remotos, permiten el levantamiento de información de grandes extensiones de terreno en menor tiempo, y generar información de gran calidad. Es así, que con el propósito de proporcionar un insumo de calidad para la gestión del arbolado urbano de Quito, se georeferenciaron entre noviembre de 2019 y marzo de 2020 un total de 4303 árboles en 13 zonas piloto de la ciudad de Quito, localizados en los parterres y veredas de la ciudad a través del uso de tecnologías de información geográfica, cuyos resultados se consolidaron en una base de datos geográfica.

1. Antecedentes

De acuerdo con la definición establecida por la Primera Cumbre Nacional, de Alcaldes Pacto Climático de Quito por un Verde Vivir, realizada en 2011, la Red Verde Urbana consiste en *“Un sistema de conectores verdes que, a través del tejido urbano, generen una vinculación espacial entre las áreas naturales de conservación y los espacios verdes con potencial ecológico, y que, a través de los refugios de paso, faciliten la movilidad de la vida silvestre para los procesos de reducción e intercambio genético entre poblaciones reducidas y aisladas”*.

Uno de los componentes más importantes de la RVU es el arbolado urbano, que se complementa con las otras áreas vegetadas urbanas para la integración y la conectividad de la cobertura vegetal a lo largo y ancho de la ciudad. El arbolado urbano constituye parte del patrimonio natural del DMQ y es un elemento vital del espacio público. Actualmente en el Distrito Metropolitano de Quito, dentro del Código Único Municipal en su Libro IV.6, Título II, Capítulo II, Sección V “De La Preservación Del Arbolado Público Urbano”, establece que en la conformación de la

Red Verde Urbana, se priorizará las especies de árboles nativos y patrimoniales de la región, considerando para el efecto su función, zona de vida correspondiente y las características de la especie, estableciendo un listado de especies aptas y recomendadas para plantarse en aceras, plazas, parques u otros, las cuales forman parte del Manual de Arborización. Así mismo, establece como Política de Cultivo el definir estrategias para el cultivo de especies vegetales nativas en los viveros públicos existentes, que incluyan la proporción del cultivo entre especies nativas y exóticas, especies patrimoniales, **la determinación de las especies de mejor adaptabilidad a cada necesidad**, su clasificación como arbolado público urbano o rural, entre otras.

Es así que en septiembre de 2019, El Colegio de Arquitectos del Ecuador, realiza un acercamiento con la Carrera de Ingeniería en Tecnologías Geoespaciales de la Universidad de las Fuerzas Armadas (CIGMA-ITGR), con la finalidad de contar con su colaboración en el levantamiento y generación de información para el Plan Árbol, producto de lo cual se genera una carta de compromiso en la que ambas instituciones aúnan esfuerzos para llevar a cabo este objetivo a través del uso de técnicas de teledetección, geodesia y cartografía.

CUADRO 1: CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS ZONAS PILOTO

Criterio	Variable	Descripción
Ubicación	Norte Centro Sur	Corresponde a la ubicación dentro de la ciudad: Norte, centro y sur de la meseta central de Quito
	Socioeconómico	
	Densidad Poblacional ¹	Corresponde a la cantidad de personas por metro cuadrado por sector censal.
	Vulnerabilidad a la pobreza ¹	Corresponde a la medida de pobreza multidimensional que considera las dimensiones de: Capacidad económica, acceso a educación básica, acceso a vivienda, acceso a servicios básicos y hacinamiento. Las categorías generadas por el indicador van desde A hasta D, siendo A
Planificación territorial¹	Áreas de venta de edificabilidad	Corresponde a las zonas de venta de edificabilidad por suelo creado, de acuerdo a la Ordenanza Metropolitana n°003.
	Uso De Suelo	Corresponde a los usos principales del Suelo, establecidos por el Plan de uso y Ocupación del Suelo.
	Zonificación	Corresponde a las formas de ocupación y edificabilidad, establecidas por el Plan de uso y Ocupación del Suelo.

2. Objetivo

El propósito de esta fase consistió en realizar el levantamiento del arbolado en vereda y parterre en 13 zonas piloto del DMQ mediante el uso de herramientas fotogramétricas y geodésicas, que determine la ubicación exacta del árbol y que permita recabar información específica como altura, estado de la vereda, y registro fotográfico, que sirva como insumo para el monitoreo ambiental y la investigación pluridisciplinaria del arbolado de la urbe a largo plazo.

Para la consecución de este objetivo se requirió: (1) determinar las zonas de estudio, localizadas en la meseta central de Quito y distribuidas en la zona norte, centro y sur, (2) realizar el levantamiento del arbolado tanto en acera como parterre mediante fotografía aérea y registrar las características generales de los árboles y estado de la vereda a través de un trabajo de campo, y (3) procesamiento de la información para generación de ortofoto y construcción de la geodatabase del arbolado.

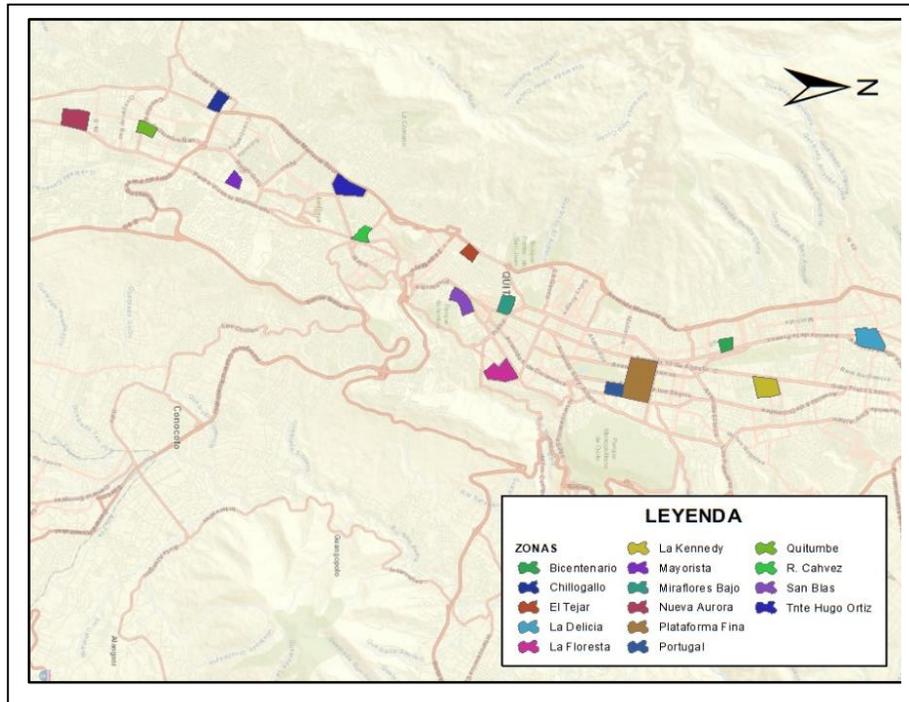
3. Metodología

3.1. Área de estudio

Se seleccionaron como zonas piloto 13 sectores localizados en la meseta central de la ciudad de Quito para el norte, centro y sur de la ciudad (Mapa n°1). Dado que se esperaba obtener sectores de muestra que tengan características diversas de la ciudad, los criterios de selección de las zonas piloto se basaron en criterios de ubicación, condiciones socioeconómicas y variables de planificación territorial. Las variables consideradas son las que constan en el Cuadro 1. Adicionalmente, se consideró además sectores con alto tráfico peatonal debido a la presencia de equipamientos como mercados, escuelas, centros de negocios, hospitales, parques y zonas cercanas a sectores con actividad industrial.

Las zonas de estudio se encuentran en el mapa 1.

MAPA 1: ZONAS PILOTO



3.2. Levantamiento del arbolado urbano

Toda la fase de adquisición de datos del arbolado en vereda y parterre, se realizó con la colaboración de la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, canalizada mediante un convenio de cooperación, en el cual alumnos de sexto semestre de la referida carrera, realizaron la adquisición y procesamiento de datos como parte de las asignaturas de Geodesia, Cartografía y Sensores Remotos. La fase del levantamiento del arbolado en vereda, se realizó en tres etapas:

La **primera etapa**, que consistió en realizar un recorrido de campo en el que se tomaron las coordenadas georreferenciadas de los árboles con GPS navegador con precisión de (+- 3 m.), se tomó una fotografía de cada árbol, se midió su altura, y se realizó una valoración del estado de la vereda en función de si ésta se encontraba en buen estado o no respecto a la base del árbol y se midió el ancho de la vereda. Las coordenadas tomadas en campo fueron posteriormente corregidas en gabinete en la fase de procesamiento de datos, descritos más adelante.

La **segunda etapa** consistió en la toma de fotografía aérea con aeronaves no tripuladas (UAV) y la toma de puntos de control en tierra con GPS de alta precisión (+- 3cm.) para corrección de las coordenadas de los árboles.

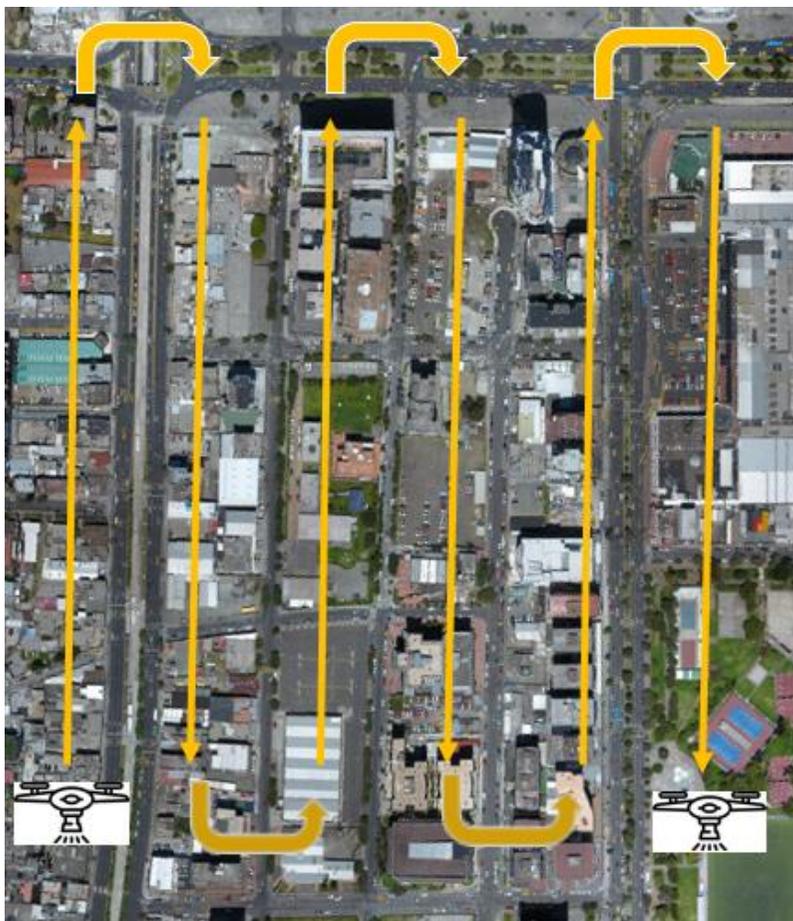
La **tercera etapa**, que consistió en el procesamiento de datos, tanto de las coordenadas en campo, como el procesamiento de las fotografías aéreas, y su consolidación en una base de datos geográfica que vincula las fotografías con cada árbol levantado.

A continuación se detalla cada etapa del levantamiento de datos:

4.2.1. Levantamiento de datos en campo

La fase de levantamiento de datos en campo, consistió en la medición de las coordenadas de cada árbol en vereda mediante GPS navegador. Estas coordenadas deben ser corregidas dado que el follaje de los árboles puede interferir en la señal captada por el GPS y distorsionar las coordenadas, produciendo un error en la ubicación de los árboles.

**GRÁFICO 2: ESQUEMA PLAN DE VUELO CON UAV – ZONA
IÑAQUITO**



Durante esta fase se midieron otros parámetros como: altura de los árboles, estado de la vereda respecto a la raíz de los árboles y se tomó una fotografía del árbol necesaria para su identificación taxonómica y valoración cualitativa.

Para el efecto, se utilizó la aplicación TPC GPS LITE, la cual permite tomar coordenadas georreferenciadas con una precisión de 5 a 10 metros, así como ingresar datos mediante un formulario y la toma de la fotografía del árbol. Este programa genera un archivo shapefile que constituye una base geográfica preliminar, la cual se corrigió en la fase de procesamiento de datos. Todo el proceso fue supervisado por un docente de la ESPE de la cátedra de Topografía y Cartografía. Adicionalmente, el equipo de campo recibió una capacitación respecto a la manera en cómo tomar la fotografía, de tal manera que se pueda obtener la mayor cantidad posible de información de la especie inventariada.

4.2.2. Toma de fotografía aérea con aeronaves no tripuladas y toma de puntos de control terrestre

Los vuelos se efectuaron utilizando un dron marca DJI, modelo Phantom 4 que puede tomar fotografías con resoluciones de 12 megapíxeles. A través de la adquisición de estas imágenes y su posterior procesamiento se puede identificar con mayor precisión la ubicación del arbolado urbano en las 13 zonas seleccionadas. Para las 13 zonas piloto se tomaron un total de 4.303 fotografías.

Paralelamente, y con la finalidad de dar una ubicación precisa al modelo resultante de procesar las imágenes, se procedió al levantamiento de cincuenta (55) puntos de control distribuidos de forma uniforme dentro de las 13 zonas de estudio para control terrestre.

El control terrestre consistió en definir una serie de coordenadas, a través de observaciones realizadas con equipos GNSS diferencial de alta precisión partiendo de un punto de control base perteneciente al marco geodésico de referencia nacional, actualmente REGME, que materializa el sistema SIRGAS en el país. Este sistema fue trasladado a la zona de estudio, mediante un proceso de triangulación.

CUADRO 2: RESUMEN DE TRABAJO DE CAMPO

Zona	Resumen de operativo de campo
La Delicia	La zona ubicada dentro del polígono propuesto no presenta dificultades de altura sin embargo tomando en cuenta las dimensiones de la zona se realizaron dos vuelos fotogramétricos con zonas de traslape común para lograr un buen amarre ¹ . Se colocaron 4 puntos de control fotogramétrico en los extremos de la zona. Se tomaron 200 fotografías .
Kennedy	La zona ubicada dentro del polígono propuesto presenta dimensiones bastante extensas por lo cual se dividió en dos realizando dos vuelos fotogramétricos con el UAV presentando una zona homogénea para el amarre de los mismos. Se colocaron 4 puntos de control en los extremos del polígono para apoyo fotogramétrico. Se tomaron 350 fotografías .
Bicentenario	Se realizó el sobrevuelo con éxito dentro de esta zona, se colocaron 4 puntos de control fotogramétrico en los extremos del polígono para apoyo fotogramétrico. Se tomaron 141 fotografías .
Ñaquito	La zona ubicada dentro del polígono propuesto presenta edificaciones superiores a los 70m lo cual en muchas ocasiones presenta pérdida de señal de radio para lo cual se realizó un solo vuelo fotogramétrico con UAV desde un punto céntrico para evitar la pérdida de señal obteniendo como resultado un vuelo exitoso. Se colocaron 4 puntos de control fotogramétrico en los extremos de la zona. Se tomaron 200 fotografías .
Portugal	Dentro de esta zona el vuelo presento dificultades de pérdida de señal de radio ya que cuenta con edificios que superan los 90m y esto obstruye la señal del control y del UAV, también se encontraron antenas de televisión y radio los cuales hacían interferencia, para lo cual se realizaron varios vuelos pequeños desde diferentes puntos para no perder la visual con el UAV y poder completar el vuelo. Se colocaron 4 puntos de apoyo fotogramétrico en los extremos de la zona. Se tomaron 500 fotografías debido a la altura de los edificios que dificultó los vuelos y debieron generarse varios parches para completar la zona.
Miraflores Bajo	La zona ubicada dentro del polígono propuesto presenta edificaciones superiores a los 70m lo cual en muchas ocasiones presenta pérdida de señal de radio para lo cual se realizó dos vuelos fotogramétricos con UAV desde puntos extremos para evitar la pérdida de señal obteniendo como resultado dos vuelos exitoso. Se colocaron 4 puntos de control fotogramétrico en los extremos de la zona. Se tomaron 300 fotografías .
La Floresta	La zona ubicada dentro del polígono propuesto presenta edificaciones superiores a los 90m de altura por lo cual en muchas ocasiones presentó pérdida de señal de radio para lo cual se realizó dos vuelos fotogramétrico con UAV desde puntos extremos para evitar la pérdida de señal obteniendo como resultado dos vuelos exitoso. Se colocaron 6 puntos de control fotogramétrico en los extremos de cada zona de vuelo. Se tomaron 500 fotografías .

La selección de los puntos de control, se efectuó usando como referencia los límites de las zonas piloto y la morfología de las zonas a levantar. Se establecieron señales físicas sobre el terreno, y se realizaron las mediciones correspondientes utilizando el método de observación estática.

La exactitud para el vértice del control base fue de 3 mm en el eje X, Y (planimetría) y 4 mm en Z (altimetría), y para el caso de los puntos de control terrestre 2 mm para el eje X, Y y 30 cm para Z. Los resultados obtenidos determinaron el control de calidad de los datos y su confiabilidad para ser utilizados en los procesos de corrección plani-altimétrico en imágenes tomadas por vehículos aéreos no tripulados.

El proceso fue supervisado por dos docentes de la ESPE, correspondiente a la cátedra de Sensores Remotos y Geodesia.

El resumen de la fase de toma de fotografía con dron, se muestran en el Cuadro 2.

CUADRO 2 (CONT.): RESUMEN TRABAJO DE CAMPO

Zona	Resumen de operativo de campo
San Blas	La zona ubicada dentro del polígono propuesto presenta dimensiones muy grandes con ruptura de escala y pérdida de señal motivo por el cual se realizaron dos vuelos fotogramétricos con UAV con zonas de traslapo común obteniendo dos vuelos exitosos. Se colocaron 4 puntos de control fotogramétrico en los extremos de la zona. Se tomaron 350 fotografías .
R. de Chávez	La zona ubicada dentro del polígono propuesto presenta presento edificaciones heterogéneas en alturas de las edificaciones por lo cual se realizó el vuelo fotogramétrico desde un lugar céntrico y con línea de vista directa a toda la zona obteniendo así un vuelo exitoso. Se colocaron 4 puntos de control fotogramétrico en los extremos de la zona. Se tomaron 200 fotografías .
Tnte. Hugo Ortiz	La zona propuesta presenta una estructura heterogénea en alturas de edificaciones lo cual produce problemas con la pérdida de señal de radio entre el control y el UAV, para lo cual se dividió la zona en dos partes para evitar la desconexión del equipo, se logró completar los vuelos con éxito y sin ninguna novedad al final del trabajo. En esta zona se colocaron 5 puntos de control ubicados en los extremos del polígono para apoyo fotogramétrico. Se tomaron 350 fotografías .
Mayorista	La zona ubicada dentro del polígono propuesto muestra una estructura homogénea de alturas edificaciones con lo cual no se obtuvieron obstrucciones o dificultades al realizar el vuelo fotogramétrico con UAV. Se colocaron 4 puntos de apoyo fotogramétrico en los extremos de la zona. Se tomaron 160 fotografías .
Quitumbe	La zona ubicada dentro del polígono propuesto presento una forma heterogénea en alturas de edificaciones lo cual dificulta la conexión de radio con el UAV, para lo cual se dividió la zona en dos partes obteniendo dos vuelos con traslapos entre sí para obtener una zona homogénea de amarre entre sí. Se colocaron 4 puntos de apoyo fotogramétrico en los extremos de la zona. Se tomaron 200 fotografías .
Nueva Aurora	La zona propuesta no presento inconvenientes en la realización del vuelo, tomando en cuenta la dimensión de la zona se realizaron dos vuelos fotogramétricos con UAV para evitar pérdida de señal de radio entre el control y el UAV. Se colocaron 4 puntos de control fotogramétricos en los extremos de las zonas los cuales se materializaron en el terreno con un clavo y pintura a ras de piso. Se tomaron 500 fotografías .

4.3. Procesamiento de la información

Los datos producidos en la fase de levantamiento de campo, requieren de un procesamiento posterior, con la finalidad de lograr las precisiones menores a 0.5 cm requeridos para el efecto. De la misma manera las fotografías tomadas por el UAV requieren de un procesamiento para generar un ortomosaico georreferenciado de imágenes. En total en la zona se tomaron 4.303 fotografías.

Es así que para la corrección de los datos tomados en campo, se utilizaron los puntos de control que fueron tomados con GNSS de doble frecuencia. Estas coordenadas fueron procesadas mediante el software TBC TRIMBLE BUSINESS CENTER que permitió corregir las coordenadas y obtener precisiones de 0.5 cm. Posteriormente se hizo una transformación de coordenadas a TMQ en el Sistema de Referencia Internacional ITRF 2000 época 2002.8 para poder ajustar los datos a la cartografía de la ciudad de Quito y no se utilizó modelo de velocidades en determinación de alturas. Luego de esta comprobación, se determinó que el error en las coordenadas era inferior a 15 centímetros en horizontal y 30 centímetros en vertical.

Para la generación de las ortofoto, se utilizó el software PIX4D el cual en base a las características del plan de vuelo genera las nubes de puntos, de las cuales se extrae la información 3D. El proceso de generación de mosaicos comprende tres procesos:

La primera, que consiste en realizar una correlación en color, tamaño y forma de puntos, entre las fotos que componen una escena, para posteriormente generar las nubes de puntos. Para el Plan Árbol se generaron por escena entre 30.000 hasta 80.000 puntos ya que se escogió el procesamiento de mejor calidad con las precisiones más altas.

El **segundo proceso**, consiste en subir los archivos de texto que contienen los puntos de control tomados en campo, y a continuación se realiza un procedimiento de orientación fotogramétrica entre puntos de control y puntos de la fotografía con la finalidad de orientar la foto. Los resultados arrojaron un error cuadrático medio menor a 0.1 píxeles. Posteriormente se realiza la densificación de puntos y la aerotriangulación.

El **tercer proceso** es la generación de la ortofoto en escala 1:1.000. Sobre la ortofoto ya con coordenadas rectificadas, se digitalizaron los árboles de forma puntual, en el

**CUADRO 3: NÚMERO DE ÁRBOLES INVENTARIADO
POR CADA ZONA PILOTO**

Zona	Número de árboles inventariado	Área Levantada (ha)
La Delicia	197	40.63
Kennedy	383	36.45
Bicentenario	246	13.07
Iñaquito	250	18.76
Portugal	501	18.77
Miraflores Bajo	305	20.45
La Floresta	768	29.41
San Blas	255	29.88
R. de Chávez	224	14.96
Tnte. Hugo Ortiz	525	41.73
Mayorista	14	13.98
Quitumbe	250	17.26
Nueva Aurora	374	53.32
TOTAL	4303	342.73

mismo orden de la toma de campo para luego unir las bases y calcular las coordenadas reales sobre la ortofoto.

Finalmente se genera la base de datos georreferenciada y se vinculan las fotografías de cada árbol a su respectivo registro en la base de datos.

3.4. Resultados

Producto de este proceso, se obtuvo una ortofoto en escala 1:1.000 de las 13 zonas de estudio que permitió conocer la ubicación precisa de los árboles. Adicionalmente mediante un levantamiento de campo, se midió la altura de los árboles, se valoró el estado de la vereda respecto de la base del árbol y se tomó una fotografía. Toda la información levantada se integró en una base de datos geográfica para su análisis, logrando identificar 4303 árboles en las 13 zonas piloto.