

MODELO ESTADÍSTICO PARA CALCULAR LA PROYECCIÓN BIOMÉTRICA EN CUANTO A ALTURA DE LAS ESPECIES ARBÓREAS, DE LAS LOCALIDADES DE CIUDAD BOLÍVAR, SUBA, SANTA FE Y CANDELARIA DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ A PARTIR DE LOS DATOS DE LOS AÑOS 2005 AL AÑO 2007.

CLAUDIA PAOLA BUSTOS MARTÍNEZ  
AYDE SÁNCHEZ CORREDOR.  
Noviembre, 2015

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS  
ESPECIALIZACIÓN EN ESTADÍSTICA APLICADA

MODELO ESTADÍSTICO PARA CALCULAR LA PROYECCIÓN BIOMÉTRICA EN CUANTO A ALTURA DE LAS ESPECIES ARBÓREAS, DE LAS LOCALIDADES DE CIUDAD BOLÍVAR, SUBA, SANTA FE Y CANDELARIA DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ A PARTIR DE LOS DATOS DE LOS AÑOS 2005 AL AÑO 2007.

Claudia Paola Bustos Martínez  
Ayde Sánchez Corredor.

Trabajo de grado realizado para obtener el título de especialistas en Estadística Aplicada

Wilmer Pineda  
Magister en Ciencias Matemáticas  
Director de trabajo de grado

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BASICAS  
ESPECIALIZACIÓN EN ESTADÍSTICA APLICADA  
BOGOTÁ D.C., 2015

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma de Jurado

---

Firma de Jurado

Bogotá D.C., Noviembre de 2015

Las directivas de la Universidad los libertadores,  
los jurados calificadores y el cuerpo docente,  
no son responsables por los criterios e ideas expuestas  
en el presente documento,  
éstos corresponden únicamente a los autores.

## Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo hallar un modelo estadístico para calcular la proyección biométrica en cuanto a la altura de las cuatro especies arbóreas más comunes de las localidades de Ciudad Bolívar, Suba, Santa Fe y Candelaria de la Ciudad de Bogotá D.C. a partir de los datos de los años 2005 al año 2007. La base de datos está conformada por 45.008 árboles y cuenta con 28 variables, de las cuales el 65% son de carácter cuantitativo, al depurar la información, se evidenció el estado de la base de datos y la relación entre cada una de las variables con la variable dependiente (altura), por medio de un análisis multivariado se excluyeron las variables de alta colinealidad y se procedió a correr la prueba de Shapiro – Wilk y se generó el modelo robusto resultante del estudio, y se reemplazó en las variables que resultaron después del análisis de colinealidad, para obtener la altura proyectada al 2015.

Esta ecuación fue reemplazada por el valor de cada variable independiente del tipo de especie, con los datos recogidos mediante el censo de los años 2005 - 2007 y se obtuvo la altura que deben tener los arboles a este año.

Palabras claves: SIGAU, Biometría, Modelo estadístico, Especie arbórea.

## Abstract

The present study aimed to find a statistical model to calculate the biometric projection related to the height of the four most common tree species in Bogota Boroughs of Ciudad Bolivar, Suba, Santa Fe and Candelaria taken data for the years 2005 to 2007. The database is it made up of 45.008 trees and has 28 variables, 65% of which are quantitative, after cleaning- up the database it was possible to acknowledge its status and the relationship between each one of the variables with the dependent variable (height), by means of a multivariate analysis, high collinearity variables were excluded and the Shapiro - Wilk test was run, as a result of the study a robust model was generated. This model was replaced in the variables that resulted after of the collinearity analysis in order to get the projected height for 2015.

This equation was replaced by the value of each variable without having into account the type of the specie, with the data collected through the survey carried out on the years 2005-2007 and the final result was the height trees should have this year.

Key words: SIGAU, Biometrics, Statistical model, arboreal specie.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>ABSTRACT V</b>	
<b>GLOSARIO X</b>	
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
2.1 <b>CONTEXTO DE ARBORIZACIÓN.....</b>	<b>17</b>
2.2 <b>BIOMETRÍA ARBÓREA.....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>22</b>
3.1 <b>TIPO DE ESTUDIO.....</b>	<b>22</b>
3.2 <b>DISEÑO ESTADÍSTICO.....</b>	<b>22</b>
3.3 <b>UNIDAD DE ANÁLISIS.....</b>	<b>23</b>
3.4 <b>INSTRUMENTOS .....</b>	<b>23</b>
3.5 <b>CONSIDERACIONES ÉTICAS:.....</b>	<b>24</b>
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS .....</b>	<b>25</b>
4.1 <i>Análisis estadístico.....</i>	<i>25</i>
4.2 <i>Calculo del Modelo.....</i>	<i>29</i>
4.2.1 <i>Ajuste por colinealidad .....</i>	<i>29</i>
4.2.2 <i>Validación de supuestos .....</i>	<i>30</i>
4.2.3 <i>Construcción del Modelo.....</i>	<i>30</i>
<b>CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN.....</b>	<b>31</b>
<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>33</b>
<b>CAPÍTULO 7. LISTA DE REFERENCIAS .....</b>	<b>34</b>
<b>CAPÍTULO 8. ANEXOS.....</b>	<b>37</b>

**Lista de Tablas**

TABLA 1. CARACTERIZACIÓN CHICALÁ .....	18
TABLA 2. CARACTERIZACIÓN ACACIA NEGRA.....	18
TABLA 3. CARACTERIZACIÓN ACACIA BRACATINGA .....	18
TABLA 4. CARACTERIZACIÓN ACACIA JAPONESA .....	19
TABLA 5. RESUMEN DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES BIOMÉTRICAS SELECCIONADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO .....	26
TABLA 6. CORRELACIONES ENTRE VARIABLES BIOMÉTRICAS .....	28
TABLA 7. DIAGNÓSTICO DE COLINEALIDAD.....	29
TABLA 8. AJUSTE LINEAL.....	29
TABLA 9. COEFICIENTES .....	30
TABLA 10. DISTRIBUCIÓN ARBÓREA DE 4 LOCALIDADES.....	42
TABLA 11. DISTRIBUCIÓN ALTURA DE ÁRBOLES EN 4 LOCALIDADES .....	44
TABLA 12. BASE DE DATOS SIGAU – JARDÍN BOTÁNICO DE BOGOTÁ “JOSÉ CELESTINO MUTIS”. .....	49

## Lista de Ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1. CHICALÁ.....	18
ILUSTRACIÓN 2. ACACIA NEGRA .....	18
ILUSTRACIÓN 3. ACACIA BRACATINGA.....	18
ILUSTRACIÓN 4. ACACIA JAPONESA.....	19
ILUSTRACIÓN 5. DISTRIBUCIÓN ARBOLADO. JARDÍN BOTÁNICO DE BOGOTÁ..	21
ILUSTRACIÓN 6. GRÁFICO DE RESIDUALES .....	30
ILUSTRACIÓN 7. GRÁFICA DE LA VARIABLE DE LOS DATOS.....	32
ILUSTRACIÓN 8. VEGETACIÓN DE ÁRBOLES REPRESENTANTES DEL CLIMA MEDITERRÁNEO. RECUPERADO DE <a href="http://adevaherranz.es/geografia/espaa/fisica/vegetacion/">HTTP://ADEVAHERRANZ.ES/GEOGRAFIA/ESPANA/FISICA/VEGETACION/....</a>	41
ILUSTRACIÓN 9. DISTRIBUCIÓN DE ÁRBOLES POR TIPO.....	42
ILUSTRACIÓN 10. DISTRIBUCIÓN DE ÁRBOLES POR LOCALIDAD.....	43
ILUSTRACIÓN 11. ARBOLES A ESTUDIAR POR LOCALIDAD A ESTUDIAR. ....	43
ILUSTRACIÓN 12. ALTURA ACTUAL DE CADA TIPO DE ÁRBOL.....	44
ILUSTRACIÓN 13. MAPA DISTRIBUCIÓN ARBÓREA LOCALIDAD DE SUBA. ....	45
ILUSTRACIÓN 14.MAPA DISTRIBUCIÓN ARBÓREA LOCALIDAD DE SANTA FE. ..	46
ILUSTRACIÓN 15.MAPA DISTRIBUCIÓN ARBÓREA LOCALIDAD DE CANDELARIA. .....	47
ILUSTRACIÓN 16.MAPA DISTRIBUCIÓN ARBÓREA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR. ....	48

**Lista de anexos**

ANEXO 1. LISTADO DE ESPECIES VEGETALES (ÁRBOLES, ARBUSTOS Y PALMAS).....	38
ANEXO 2. ILUSTRACIÓN DE ALGUNAS VARIACIONES EN EL ASPECTO DE LOS ÁRBOLES. ....	41
ANEXO 3. RESULTADO INICIAL DESCRIPCIÓN BARRIDO INICIAL DE LA INFORMACIÓN. ....	42
ANEXO 4 MAPA DISTRIBUCIÓN ARBÓREA LOCALIDAD DE SUBA. ....	45
ANEXO 5 MAPA DISTRIBUCIÓN ARBÓREA LOCALIDAD DE SANTA FE.....	46
ANEXO 6. MAPA DISTRIBUCIÓN ARBÓREA LOCALIDAD DE CANDELARIA. ....	47
ANEXO 7. MAPA DISTRIBUCIÓN ARBÓREA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR.....	48
ANEXO 8. BASE DE DATOS SIGAU – JARDÍN BOTÁNICO DE BOGOTÁ “JOSÉ CELESTINO MUTIS” .....	49

## Glosario

**Altura del fuste:** también llamada altura comercial, es la altura tomada desde la base del árbol hasta la base de la copa. Generalmente se distingue la base de la copa con las primeras ramas. (Jardín Botánico de Bogotá, 2007).

**Ángulo de inclinación:** ángulo que se forma entre un plano vertical o perpendicular al terreno y la línea de dirección en la cual crece el árbol. (Jardín Botánico de Bogotá, 2007).

**Árbol Urbano Público (AUP):** Se considera que son todos aquellos árboles, arbustos y palmas en cualquier estadio de crecimiento, ubicados sobre terrenos públicos, con fines de protección de la red hídrica, lúdica, de circulación urbana, ambiental, así como en áreas degradadas, áreas de disposición de desechos y franjas de servidumbre. Se excluyen los árboles ubicados en el área privada, los tocones ubicados en el área pública urbana y la vegetación de jardinería ubicada en el área pública. (Jardín Botánico de Bogotá, 2005).

**Dasometría:** diferentes métodos de medición que determinan las características físicas del árbol en cuanto a dimensionamiento (altura total, altura del fuste, diámetro de copa, perímetro a la altura del pecho, perímetro de la base del fuste). (Jardín Botánico de Bogotá, 2005).

**Diámetro Ecuatorial de la copa:** corresponde a aquella longitud mayor de la proyección ortogonal de la copa sobre un supuesto plano horizontal en la base del árbol, la unidad de medición es expresada en metros con dos decimales. Es posible que esta variable tome el valor de cero (0) cuando no exista copa por poda extrema de las ramas. El valor solicitado debe estar entre 0 y 25. (Jardín Botánico de Bogotá, 2007).

**Edad árbol:** A partir del momento en que fue sembrado hasta octubre 30 de 2015.

**Espacios Públicos:** son los estipulados por el POT, para espacios públicos y además incluye los árboles ubicados en áreas del Sistema Hídrico, Áreas Degradadas, Áreas de Disposición, Franjas de Servidumbre y Franjas de Control Ambiental ubicadas dentro del Perímetro Urbano. (Jardín Botánico de Bogotá, 2007).

**Fitosanidad:** Estado de sanidad o enfermedad del árbol. (Jardín Botánico de Bogotá, 2005).

**Follaje:** Es el conjunto de la copa formado por las ramas y las hojas. (Jardín Botánico de Bogotá, 2005).

**Fuste:** Parte de la columna que tiene forma de cilindro alargado y está comprendida entre la basa y el capitel. (Jardín Botánico de Bogotá, 2005).

Galileo: Sistema de Posicionamiento por Satélite diseñado por la Unión Europea también llamado GNSS. (Pozo-Ruz).

Georreferenciación: corresponde a las coordenadas únicas de localización para cada árbol y son adjudicadas por el sistema en el momento de la georreferenciación (Coordenadas X e Y). (Jardín Botánico de Bogotá, 2007).

GLONASS: Sistema Global de Navegación por Satélite diseñado por la Unión Soviética. (Pozo-Ruz).

GPS: Sistema de Posicionamiento Global diseñado por Estados Unidos. (Pozo-Ruz).

Perímetro Basal: Longitud del contorno del tronco tomado desde 0 a 0,1m desde la base del árbol. (Jardín Botánico de Bogotá, 2007).

SIGAU: El SIGAU es el Sistema de Información para la Gestión del Arbolado Urbano de Bogotá D.C. Es el sistema único que contiene toda la información de los árboles localizados en el espacio público de la ciudad, dentro del perímetro urbano. (Jardín Botánico de Bogotá, 2005).

Silvicultura Urbana: Es una rama especializada de la silvicultura y tiene como objetivo el cultivo y manejo de árboles para su presente y su potencial contribución en aspectos sociológicos, fisiológicos, y garantizar el bienestar económico de la sociedad urbana.

Submétrica: Es el nivel de precisión que emplean las técnicas de navegación cinética satelital en tiempo real, es usada para la topografía y navegación marina basado en el uso de medidas de fase de navegadores con señales GPS, GLONASS y/o Galileo, donde una sola estación de referencia proporciona correcciones en tiempo real, obteniendo una exactitud máxima. (Jardín Botánico de Bogotá, 2007).

X: Coordenadas de ubicación en el eje x del árbol (Jardín Botánico de Bogotá, 2005).

Y: Coordenadas de ubicación en el eje y del árbol. (Jardín Botánico de Bogotá, 2005).

## Introducción

El Manual de Arborización para Bogotá (Jardín Botánico de Bogotá, 2001) determinó que la plantación de árboles en zonas urbanas tiene varios propósitos, como crear barreras visuales, minimizar el efecto del viento, de la radiación solar, del ruido, servir de límite entre zonas de diferente uso, proporcionar aislamiento, embellecer el entorno, proporcionar sombra en áreas recreativas o de esparcimiento, como parques, plazas y plazoletas, proporcionar alimento y refugio a las especies de fauna que habitan en la ciudad, entre otros.

El logro de los estos objetivos implica la planeación minuciosa de la arborización urbana, con base en un buen nivel de conocimiento de las características y de las limitaciones de las numerosas especies que pueden ser utilizadas, así como del entorno donde se pretende ubicarlas, con el fin de lograr mayores probabilidades de éxito. (p. 2).

Dado lo anterior, el Distrito Capital expidió el decreto 472 de 2003, "Por el cual se reglamenta la arborización, aprovechamiento, tala, poda, trasplante o reubicación del arbolado urbano y se definen las responsabilidades de las entidades distritales en relación con el tema", este decreto fue derogado por el art. 33, del Decreto Distrital 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".

Sin embargo, con el fin de cumplir con el mandato dado mediante el decreto 472 de 2003, en el periodo 2005 - 2007 el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE – realizaron el Censo del Arbolado Urbano Bogotá D.C, que permitió elaborar el inventario y la Georreferenciación del arbolado urbano ubicado en el espacio público de uso público, el cual incluyó los datos de seguimiento a su crecimiento, desarrollo y estado fitosanitario, en procura de su actualización, para lo cual se generó el sistema denominado SIGAU, el cual contiene la base de datos de todos los arboles de la ciudad.

Este censo tuvo un costo muy alto para la administración, por ello se controlan algunas de las características propias de los árboles que fueron indagadas como lo son la identificación, georreferenciación con precisión submétrica, entorno del árbol, dasimetría, follaje, tronco, raíces que se pueden obtener de los árboles actualmente emplazados y permitió localizar espacialmente, cada uno de los árboles sobre el suelo urbano y en espacio público de uso público (Censo del Arbolado Urbano Bogotá D.C, - CAU 2005 – 2007).

El SIGAU se convirtió en una herramienta vital para la planeación de la arborización de Bogotá D.C., dado que la información registrada en él, permite

determinar zonas con déficit arbóreo, focalizar programas de mantenimiento en áreas críticas por condiciones sanitarias o físicas, sin embargo, en la actualidad no se ha llevado a cabo el registro riguroso en la base de los árboles que fueron el objeto del censo (2005 - 2007), y por ende, aunque la herramienta es muy importante y contiene la información de los árboles de la ciudad, hay un porcentaje muy alto con la información desactualizada, es decir, ya no corresponde a la medida de la especie en la actualidad (2015).

Para el Jardín Botánico de Bogotá es importante tener los datos actualizados de algunas de las variables de los árboles a los que no se les realizó un seguimiento, de tal manera que se puedan incluir estos árboles en sus programas fitosanitarios, o de prevención del riesgo o reubicación de acuerdo a sus condiciones biométricas actuales.

## Capítulo 1. Planteamiento del problema.

Debido a que las condiciones urbanas generan que el árbol este sometido a condiciones adversas de tipo abiótico que se refieren a todo aquello relacionado con un medio ambiente desfavorable y/o de tipo biótico que se relacionan principalmente con la ocurrencia de plagas, enfermedades y daño antrópico, es posible que la alteración de la fisiología de la planta pueda debilitar sus defensas naturales contra plagas y enfermedades, el Jardín Botánico de Bogotá en el Manual de Arborización para Bogotá (2001), tomo en consideración las *condiciones ambientales particulares de una ciudad como Bogotá y el limitado conocimiento que se tiene sobre la respuesta de la vegetación a las condiciones urbanas, determinando que se hace imposible predecir variados aspectos de su comportamiento.*

De acuerdo con Birks y Robinson (2000) los problemas fitosanitarios en especies forestales ocasionan debilitamiento, crecimiento lento, baja calidad o cantidad en sus productos (madera, follaje, componentes estéticos) y pérdida total de los ejemplares, no solo los arboles de Bogotá están abocados a este tipo de factores que los pueden debilitar y por ende enfermar, sino por lo general en una ciudad, todos aquellos que este expuestos a las mismas condiciones llegaran a tener cualquier tipo de enfermedades, según las condiciones de la ciudad, los árboles se caerán, sobre los automóviles, transeúntes, avenidas, causando afectaciones que pueden llegar a ser fatales para los ciudadanos.

Lo anterior evidencia la necesidad de realizar un seguimiento detallado de la arborización en la ciudad, con el fin de adquirir un buen nivel de conocimiento sobre el comportamiento de las especies en los diferentes espacios y condiciones, permitiendo optimizar a mediano y largo plazo la planeación de la arborización urbana y realizar los ajustes necesarios orientados a minimizar los costos ambientales y optimizar los beneficios de la misma, por ende, la selección de especies aptas para la arborización urbana debe considerar la evaluación de los aspectos que intervienen en el buen desarrollo de los árboles, entre otros aspectos se encuentra el grado de adaptación de las especies a las condiciones ambientales del entorno urbano, que garantice su supervivencia en zonas específicas de la ciudad y debe ser parte integral de los diferentes espacios de la infraestructura urbana, de tal forma que sus características y requerimientos resulten compatibles con los diferentes entornos (Manual de Arborización para Bogotá, 2001).

Al no contar con datos actualizados cuando se va a realizar la caracterización del árbol que ha causado la afectación a la ciudadanía, el Jardín Botánico de Bogotá se ha encontrado que la información del árbol no coincide con la que tienen en la base del censo, pues este por lógica natural ha cambiado en su estructura. Entonces el árbol que se pensaba que solo medía 8 metros y que no tenía un diámetro superior a metro y medio resulta que es un árbol de casi 18 metros con un diámetro superior a

los 5 metros, por lo cual el árbol hubiera podido recibir un trato diferente, acorde con la información inicial.

De acuerdo a lo anterior, el Jardín Botánico de Bogotá (2001), clasificó los espacios arborizables desde el punto de vista específico de la arborización basados en lo establecido en el Plan de Ordenamiento Territorial - POT, en lo relacionado con la conformación de la estructura ecológica principal y su integración con ecosistemas adyacentes al entorno urbano. Esta clasificación delimitó las zonas en 17 tipos, entre las cuales se encuentran las zonas de rondas hídricas, de uso público, de urbanización, de vías, etc. Para el objeto del presente trabajo se trabajara en zonas públicas de uso público ubicadas en las localidades de Ciudad Bolívar, Suba, Santa Fe y Candelaria.

El SIGAU se convirtió en una herramienta vital para la planeación de la arborización de Bogotá D.C., dado que la información registrada en él, permite determinar zonas con déficit arbóreo, focalizar programas de mantenimiento en áreas críticas por condiciones sanitarias o físicas. Sin embargo, en la actualidad no se ha llevado a cabo el registro riguroso en la base de los árboles que fueron el objeto del censo (2005 - 2007), y por ende, aunque la herramienta es muy importante y contiene la información de los árboles de la ciudad, hay un porcentaje muy alto con la información desactualizada, es decir, ya no corresponde a la medida de la especie en el año 2015.

Para el Jardín Botánico de Bogotá es importante tener los datos actualizados de algunas de las variables de los árboles a los que no se les realizó un seguimiento, de tal manera que se pueda contar un modelo estadístico robusto que permita calcular la biometría actual de las especies arbóreas de interés para las localidades mencionadas en este documento.

Este planteamiento nos llevará a resolver la proyección biométrica de altura de los árboles de estas localidades con lo cual el jardín botánico podrá incluir a los árboles más altos, en su plan de poda y de mantenimiento, antes de que generen riesgos para la ciudadanía por su grado de altura y dependiendo de la revisión fitosanitaria la debilidad en el diámetro.

Acorde con la revisión realizada se pretende en este trabajo el siguiente objetivo general: Determinar un modelo estadístico para calcular la proyección biométrica en cuanto a altura de las especies arbóreas, de las localidades de Ciudad Bolívar, Suba, Santa Fe y Candelaria de la Ciudad de Bogotá a partir de los datos de los años 2005 al año 2007. De este se derivan los siguientes objetivos específicos: i) identificar los factores comunes de crecimiento biométrico de las cinco especies arbóreas en las localidades de Ciudad Bolívar, Suba, Santa Fe y Candelaria de la Ciudad de Bogotá Distrito Capital a partir de los datos de 2005 al 2007. ii) hallar el modelo que describa el crecimiento biométrico de estas especies arbóreas en las localidades de Ciudad Bolívar, Suba, Santa Fe y Candelaria de la Ciudad de Bogotá Distrito Capital, iii)

Calcular los cambios en la altura de las especies arbóreas de las localidades de Ciudad Bolívar, Suba, Santa Fe y Candelaria de la Ciudad de Bogotá a partir de los datos de 2005 a 2007.

Dada la problemática anteriormente expuesta, en el siguiente estudio se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuánto ha cambiado la biometría en las especies arbóreas de las localidades de Ciudad Bolívar, Suba, Santa Fe y Candelaria en cuanto altura, de acuerdo a los datos del 2005 al 2007?.

## Capítulo 2. Marco Teórico

### 2.1 Contexto de arborización

De acuerdo al Jardín Botánico de Bogotá (2001) “La selección de especies vegetales aptas para la arborización, se realiza considerando el condicionante ambiental más importante que corresponde a la disponibilidad de humedad ambiental, permitiendo zonificar el espacio urbano en términos de oferta hídrica para el desarrollo de las especies destinadas a la arborización de la ciudad. Una vez establecidas las especies que mejor se adaptan a estas condiciones ambientales, se evalúa la oferta de los diferentes espacios urbanos y proyectos de infraestructura, de acuerdo con las características y las funciones que podrían cumplir dichas especies. Lo anterior con el fin de evitar costos adicionales posteriores, para el mejoramiento de las condiciones de desarrollo de las especies plantadas, plasmados en excesivos mantenimientos y en solucionar deterioros potenciales de infraestructura por efecto del crecimiento de los árboles (deterioro de andenes, interferencia con líneas eléctricas, entre otros)”(p.8).

El manual de arborización para Bogotá D. C. (2001), establece los pasos para la selección de especies y un listado de especies para su uso en la arborización indicando su grado de adaptación a las condiciones ambientales con el fin de mitigar los deterioros mencionados con anterioridad. Entre esas especies las que se han adaptado con mayor facilidad a las condiciones ambientales en las localidades de interés, se encuentran la Acacia Bracatinga, Acacia Japonesa, Acacia Negra y Chicalá, las cuales son el objeto del presente estudio, debido a que el Jardín Botánico de Bogotá “José Celestino Mutis” las ha identificado como los de individuos arbóreos con menor seguimiento en el crecimiento biométrico de la especie en Bogotá D.C.

El conocimiento sobre el crecimiento de los árboles es esencial para plantear el manejo que se dará a algunas especies, por ello se utiliza algunas técnicas para la medición de los diámetros y la evaluación a los tratamientos silviculturales sobre el crecimiento de los árboles, ya que el crecimiento medio anual varía considerablemente de un sitio a otro aún dentro de un mismo tipo de vegetación (Williams-Linera, G., 1996). Así mismo, algunos factores que afectan la tasa de crecimiento de árboles individuales son la densidad, la edad, la vitalidad de los árboles del dosel superior, los cambios en los regímenes luminosos, el espacio para crecer, la disponibilidad de agua, la temperatura, la producción de semillas, la herbivoría y las enfermedades (Stoddard,1968), (Veillon, 1985).

Las características específicas de cada especie arbórea se debe a que los árboles son plantas que no son uniformes, sino que poseen formas variadas, debido a esto encontramos más de 100 mil especies de árboles. En el Jardín Botánico de Bogotá D.C. existen registradas 105 especies, (Jardín Botánico de Bogotá, 2005) de las cuales se identificaron como especies de interés para el presente trabajo la Acacia

Bracatinga, Acacia Japonesa, Acacia Negra, y Chicalá, estas especies tienen características que se describen en las Tablas 1, 2, 3 y 4.

Tabla 1. Caracterización Chicalá



Ilustración 1. Chicalá

Nombre Científico:	<u>Tecomas Stans</u>
Nombre Común:	<u>Chiclá</u>
Porte:	<u>Arboreo</u>
Altura Máxima:	<u>&lt;5 metros</u>
Forma de la Copa:	<u>Semiblonga Aparasolada</u>
Características de la Raíz	
Profundidad:	<u>Profunda</u>
Intrusividad:	<u>Media</u>
Crecimiento:	<u>Medio</u>

Tabla 2. Caracterización Acacia Negra



Ilustración 2. Acacia Negra

Familia:	<u>Moraceae</u>
Nombre Científico:	<u>Ficus Soatensis</u>
Nombre Común:	<u>Caucho Sabanero</u>
Porte:	<u>Arboreo</u>
Altura Máxima:	<u>15 metros</u>
Forma de la Copa:	<u>Semiblonga, Oblonga</u>
Características de la Raíz	
Profundidad:	<u>Superficial</u>
Intrusividad:	<u>Muy Alta</u>
Crecimiento:	<u>Medio</u>

Tabla 3. Caracterización Acacia Bracatinga



Ilustración 3. Acacia Bracatinga

Familia:	<u>Euphorbiaceae</u>
Nombre Científico:	<u>Croton Funckianus</u>
Nombre Común:	<u>Sangregado</u>
Porte:	<u>Árbol</u>
Altura Máxima:	<u>15 metros</u>
Forma de la Copa:	<u>Aparasolada Irregular</u>
Características de la Raíz	
Profundidad:	<u>Media</u>
Intrusividad:	<u>Alta</u>
Crecimiento:	<u>Medio</u>

Tabla 4. Caracterización Acacia Japonesa



Ilustración 4. Acacia Japonesa

Familia:	<u>Anacardiaceae</u>
Nombre Científico:	<u>Schinus Molle</u>
Nombre Común:	<u>Falso Pimiento</u>
Porte:	<u>Arboreo</u>
Altura Máxima:	<u>10 metros</u>
Forma de la Copa:	<u>Oblonga y Suboblonga</u>
Características de la Raíz	
Profundidad:	<u>Superficial</u>
Intrusividad:	<u>Media</u>
Crecimiento:	<u>Medio</u>

Como se advertía en las tablas 1, 2, 3 y 4 los árboles no son uniformes, sin embargo, presentan variables que son estándar para todos, en el caso que sean evaluados y/o analizados como es el caso de su la altura total la cual es medida desde la base del árbol a la punta de la copa (ápice de la copa), el entorno, el emplazamiento que hace referencia al lugar donde se ubica el árbol, una definición más exacta: 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, como lo son: Rondas de ríos, parques de barrio, ciclorutas, areneras, áreas de disposición de basuras, entre otras. (Jardín Botánico de Bogotá - DANE, 2005).

También entre las variables que se le evalúan a un árbol y que tienen relación directa con la altura están el tipo de árbol, la cantidad de hojas que cubre el follaje del árbol (transparencia), la densidad, la forma del tronco, el diámetro polar, diámetro ecuatorial, perímetro basal, Angulo inclinado, altura del fuste, Angulo de inclinación, y edad del árbol.

## 2.2 Biometría Arbórea

En Colombia la información biométrica<sup>1</sup> y dasométrica<sup>2</sup> de los árboles en proyecciones de modelos estadísticos, no es común, la entidad estatal en Colombia que actualmente tiene información más detallada de sus individuos arbóreos es el Jardín Botánico de Bogotá, aunque hay entidades distritales aparte de este que también desarrollan trabajo con los árboles, las investigaciones más acuciosas las desarrolla el Jardín Botánico de Bogotá.

Algunos autores plantean modelos de crecimiento forestal y en sus estudios predicen el desarrollo de un bosque, empleando características del sitio y opciones de

<sup>1</sup> Aplicación de métodos estadísticos y cálculo en el estudio de los fenómenos biológicos. (Diccionario 2000)

<sup>2</sup> Es la parte de la [Dasonomía](#) (Ciencia de los bosques) que se ocupa de la aplicación de métodos estadísticos para la búsqueda de soluciones a problemas asociados con la existencia, crecimiento y el manejo de bosques. (wiky 2015)

manejo como variables de entrada, y constituyen una herramienta importante para la toma de decisiones en el manejo forestal sostenible (Newnham, 1964). La mayoría de estos modelos son empíricos y pueden ser organizados en tres tipos: modelos de rodal, modelos de clases de tamaños y modelos de árbol individual. El tipo de modelo a desarrollar depende tanto de los propósitos de su aplicación como de los recursos disponibles (Vanclay, 1995). Estos factores determinan también los datos necesarios y la exactitud de las estimaciones.

De los estudios que se han realizado, se plantean los modelos para árboles en sistema rodal e individuales, en el cual se tiene un mismo tipo de familia arbórea, de especie, de base genética amplia y que es mejorado, y para ello se remueven especies arbóreas que no se quieran tener dentro del grupo o que no hagan parte de las características deseadas, dichos modelos son de naturaleza estática, en el sentido de que no predicen, directamente, tasas de cambio de ninguna de dichas variables. Existe otro grupo de modelos de carácter dinámico que predicen fundamentalmente tasas de cambio, es decir, el crecimiento de alguna variable dasométrica que, normalmente, es el diámetro medio cuadrático, el área basal o el volumen. A partir de los modelos estudiados, se obtiene, la evolución del rodal en el tiempo (Alder, 1980).

Respecto a que las decisiones para un manejo forestal sostenible se basan en información sobre las condiciones presentes y futuras de los recursos los datos de periodos largos son indispensables. Cuando se carece de este tipo de información, los simuladores de crecimiento forestal que describen la dinámica de bosques pueden ser utilizados para predecir el rendimiento futuro, la composición de especies, la estructura y la función de los ecosistemas bajo condiciones ambientales cambiantes, que permiten también el análisis de opciones de manejo y alternativas silvícolas (Vanclay, 1995). (Vargas, Corral, Aguirre & Nagel, 2010)

Si bien los estudios y diseños planteados se basan en rodales y ambientes cambiantes, se debe considerar que las condiciones son válidas para las siembras según tipos de suelo y la necesidad del árbol en el terreno como ocurre en las diferentes localidades de Bogotá D.C. Los factores ambientales cambiantes si generan cambios en la estructura y por ende altura del árbol, al igual que su diámetro, por ejemplo cuando el árbol tiene un emplazamiento en un humedal o cerca del mismo, permitirá un desarrollo distinto de la especie al que se presenta si se siembra sobre una avenida, o parque natural.

Aunque el modelo lineal robusto que se determina en este documento proyecta solo el cambio biométrico en la altura y para ello utiliza varias variables incluso el emplazamiento, si se trabajara un modelo con otro tipo de proyección, factores como los ambientales en otras ciudades, necesariamente llevarían a cambios estructurales en el modelo, dado que es preciso validar nuevamente los supuestos de independencia y Homocedasticidad, los cuales para este caso no funcionan por presencia de datos atípicos.

Aquí se presenta la Distribución del arbolado de acuerdo a su altura en la ciudad de Bogotá. (Censo 2005 -2007) Jardín botánico de Bogotá.

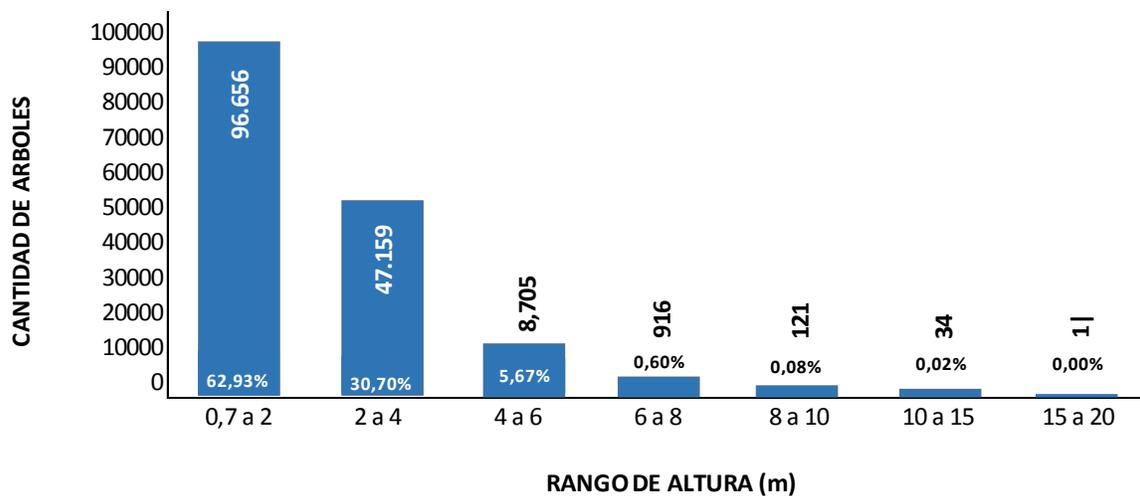


Ilustración 5. Distribución Arbolado. Jardín Botánico de Bogotá.

### Capítulo 3. Marco Metodológico

El presente documento da cuenta de las herramientas metodológicas descriptivas con miras a desarrollar los objetivos de la investigación tomando en consideración los desarrollos teóricos y conceptuales expuestos previamente. Presenta de manera general el enfoque del estudio, métodos y técnicas específicas de análisis de la información y sus fuentes principales, criterios para la elección de las variables de estudio, el procedimiento de depuración de las variables para cerrar con los procedimientos técnicos, el análisis y generación del modelo planteado.

#### 3.1 Tipo de estudio

Este documento hizo uso de la metodología descriptiva, que es por excelencia la elección para recabar datos cuantitativos en un campo de análisis como es el de la evaluación arbórea, desde la perspectiva teórica que se desarrolla y en concordancia con los autores reseñados en los antecedentes (Javier Corral Rivas, 2010) y (Dankhe, 1986 ) quien afirma que “Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis, y miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar. Desde el punto de vista científico, describir es medir.” Esto es, en un estudio descriptivo se selecciona una serie de datos y/o variables y se mide cada una de ellas independientemente, para así describir lo que se investiga.

#### 3.2 Diseño estadístico

Para analizar los datos se realizó una descripción de la base de datos, con la cual se evaluaron las variables explicativas para el modelo, se estudió la relación existente entre este conjunto de variables y la variable a calcular (altura), por medio de la elaboración de los supuestos requeridos para realizar una regresión, se encontró colinealidad<sup>3</sup> entre las variables, la cual se trató eliminando las variables predictoras que estaban generándola, reduciendo el número de parámetros a estimar. Se aplicó la prueba de Shapiro - Wilk para evaluar la normalidad así como la ubicación de los valores de las variables, se realizó la prueba de Levene con el fin de evaluar cada una de las variables ya corregida y la prueba de Durbin-Watson con la cual se evaluó la variable independiente.

Debido a las características de la Base de datos y a los resultados obtenidos en los procesos anteriores, se consideró más confiable realizar la regresión robusta. EL método empleado fue el M- estimaciones para escoger  $\beta$ , dado que modifica la idea de mínimos cuadrados para elegir  $\beta$  para minimizar:

---

<sup>3</sup> La colinealidad es un problema del análisis de regresión que consiste en que los predictores del modelo están relacionados constituyendo una combinación lineal. (López González, 1998)

$$\sum_i^n \rho(y_i - x_i^T \beta)$$

Algunas de las opciones posibles entre muchos para  $\rho$  son:

1.  $\rho(x) = x^2$  es mínimos cuadrados simples.
2.  $\rho(x) = |x|$  se dice que es la menor desviación absoluta (LAD) de regresión o regresión  $L_1$ .
3.  $\rho(x) = \begin{cases} x^2/2 & \text{si } |x| \leq c \\ c|x| - c^2/2 & \text{en otros casos} \end{cases}$

Este método también se llama método de Huber y es un compromiso entre los mínimos cuadrados y la regresión LAD.  $c$  debe ser una estimación robusta de  $\sigma$ . Un valor proporcional a la media de  $|\varepsilon|$  adecuada.

Como resultado de lo anterior se corrió la regresión, y se encontró el modelo, definiendo los betas y el error, para calcular la ecuación.

### 3.3 Unidad de Análisis

La Base de datos que se analizó en este documento, se encuentra en la plataforma denominada SIGAU, perteneciente al Jardín Botánico de Bogotá.

La base de datos, contiene la información arbórea de las localidades de Candelaria, Suba, Santafé y Ciudad Bolívar, con un total de 45.008 registros. La distribución arbórea por localidad fue de 1.168 registros en Candelaria, 8.44<sup>o</sup> en ciudad Bolívar, 7.964 en Santafé y 27.436 en Suba. Las especies a trabajar y común en estas 4 localidades fueron Chicalá, Acacia Bracatinga, Acacia Japonesa y Acacia Negra.

Los datos suministrados por el SIGAU, son los recolectados en los años 2005 a 2007, los cuales fueron purificados por parte de este grupo investigador para poder evaluar el modelo, la depuración consistió, en recopilar los datos completos, determinar las variables que se requerían, pues existían muchas, que no se relacionaban con la variable a trabajar, determinar el periodo en que los arboles fueron sembrados, y unificar variables para que estas quedaran en las mismas unidades de medida al interior de ellas.

### 3.4 Instrumentos

Se construyó una Matriz de organización de la información (ver anexo 5)

La base de datos finalmente quedo lista para trabajar, con 29 variables, de las cuales el 65% son numéricas y el restante cualitativas, que no sufrieron transformación a Dumis, porque el modelo al final solo utilizo 10 variables cuantitativas, debido al alto grado de colinealidad que presentaban las variables explicativas iniciales, halladas mediante la prueba de Durbin-Watson.

Se empleo el paquete estadístico SPSS en las Instalaciones de la Fundación Universitaria los Libertadores, así como los programas R y Rstudio.

### **3.5 Consideraciones éticas:**

La obtención de la información fue tramita a través del Jardín Botánico de Bogotá “José Celestino Mutis”, solo para los fines pertinentes objeto de este estudio.

## Capítulo 4. Resultados

Se empleó el procedimiento de regresión lineal múltiple para identificar los factores comunes de crecimiento biométrico descrito en el capítulo anterior, determinar el modelo que describe el crecimiento biométrico de las especies arbóreas, y se realizó el cálculo de los cambios en la altura de las especies en las localidades de Ciudad Bolívar, Suba, Santa Fe y Candelaria de la Ciudad de Bogotá D.C. a partir de los datos de 2005 a 2007.

### 4.1 Análisis estadístico.

Inicialmente se realizó el cálculo de los Estadísticos descriptivos de las variables con el fin de conocer su comportamiento individual y evaluar el mejor tratamiento para las mismas (*Tabla 5.*), con el fin de identificar los factores comunes de crecimiento biométrico de las especies arbóreas en las localidades de Ciudad Bolívar, Suba, Santa Fe y Candelaria de la Ciudad de Bogotá Distrito Capital a partir de los datos de 2005 al 2007, se realizó la matriz de correlaciones (*Tabla 6*), mediante la cual se evidencio la correlación de la Variable dependiente (altura) con las demás variables explicativas, en esta tabla evidenciamos también que existía colinealidad entre las variables explicativas.

Al detectar esta colinealidad, se procedió a reducirla mediante la comparación de las 28 variables explicativas con la variable a explicar y la variable edad en días, este procedimiento fue necesario para determinar las variables con las cuales se debía trabajar para que el modelo se ajustara a las necesidades del presente proyecto.

Mediante el análisis descriptivo inicial de la Base de Datos se identificó que las variables cualitativas no eran representativas para el modelo, sin embargo, se generó la matriz de correlación, y se reafirmó el hecho que presentaron colinealidad con las variables explicativas, e individualmente no aportaban robustez al modelo.

Así mismo se encontró que las variables Nombre, Emplazam, nomcomun, Tipoarbol, Follaje, Densidad, Transparen, PorcAfecF, FormaTronc, FormaTro1, danoT, Metodo, Diampolar, angcomple, disthoriz, localidad, también presentaron colinealidad entre ellas, y no aportaban al modelo. En el caso de la variable Edad en Días también mostro colinealidad con algunas variables pero al considerarse de alta importancia para el modelo, debido a que la edad afecta la biometría de las especies arbóreas no fue omitida en la construcción del mismo.

Tabla 5. Resumen Descriptivo de las variables Biométricas seleccionadas para la construcción del Modelo

		Estadísticos descriptivos					
		Estadístico	Error estándar	Sesgo	Bootstrap <sup>a</sup>		
					Error estándar	Intervalo de confianza a 95%	
					Inferior	Superior	
altura	Rango	29,3681995					
	Mínimo	0,5					
	Máximo	29,8681995					
	Media	5,31232933	0,01983243	-0,00011161	0,01918158	5,27459257	5,3503536
	Desviación estándar	4,20746796		-0,00011008	0,01801294	4,17213812	4,24224574
	Varianza	17,703		-0,001	0,152	17,407	17,997
	Asimetría	1,265	0,012	0	0,014	1,236	1,293
	Curtosis	1,451	0,023	-0,002	0,068	1,315	1,58
edad en días	Rango	2129					
	Mínimo	1562					
	Máximo	3691					
	Media	3009,482	1,0253	-0,032	0,782	3007,946	3010,937
	Desviación estándar	217,5124		0,0173	2,0275	213,5512	221,3171
	Varianza	47311,637		11,646	881,764	45604,11	48981,237
	Asimetría	-2,219	0,012	0,001	0,048	-2,309	-2,122
	Curtosis	15,047	0,023	-0,009	0,221	14,604	15,454
X	Rango	16448,198					
	Mínimo	88237,662					
	Máximo	104685,86					
	Media	98876,0423	17,9992461	-0,17549	9,856588	98855,8719	98895,0101
	Desviación estándar	3818,55608		0,2673359	7,3390611	3803,89611	3832,68977
	Varianza	14581370,5		2095,554	56046,322	14469625,6	14689510,9
	Asimetría	-0,9	0,012	0	0,005	-0,91	-0,889
	Curtosis	-0,22	0,023	0	0,01	-0,241	-0,198
Y	Rango	33204					
	Mínimo	92209,359					
	Máximo	125413,359					
	Media	109044,144	40,5387103	0,26014937	12,9832338	109018,328	109068,838
	Desviación estándar	8600,32345		-0,26713909	15,0069104	8571,92178	8629,23157
	Varianza	73965563,4		-4369,912	258138,424	73477843	74463637,5
	Asimetría	-0,388	0,012	0	0,003	-0,395	-0,381
	Curtosis	-1,046	0,023	0	0,003	-1,052	-1,039
Diamecuat	Rango	24,2					
	Mínimo	0					
	Máximo	24,2					
	Media	3,3673	0,0145	0,0001	0,0141	3,3399	3,3947
	Desviación estándar	3,07705		0,00012	0,01467	3,0492	3,10647
	Varianza	9,468		0,001	0,09	9,298	9,65
	Asimetría	1,322	0,012	-0,002	0,02	1,281	1,358
	Curtosis	2,206	0,023	-0,009	0,122	1,949	2,44
perimbasa	Rango	4,8					
	Mínimo	0					
	Máximo	4,8					
	Media	0,4351	0,00211	0	0,002	0,4311	0,4392
	Desviación estándar	0,44857		0,00002	0,00249	0,4438	0,45329
	Varianza	0,201		0	0,002	0,197	0,205
	Asimetría	1,619	0,012	-0,002	0,034	1,552	1,684
	Curtosis	3,751	0,023	-0,019	0,314	3,138	4,351

		Estadísticos descriptivos			Bootstrap <sup>a</sup>		
		Estadístico	Error estándar	Sesgo	Error estándar	Intervalo de confianza a 95%	
						Inferior	Superior
anginclin	Rango	90					
	Mínimo	0					
	Máximo	90					
	Media	71,6871	0,14314	-0,0066	0,1388	71,4172	71,9696
	Desviación estándar	30,36739		0,00497	0,13093	30,09421	30,62661
	Varianza	922,178		0,319	7,951	905,661	937,989
	Asimetría	-1,811	0,012	0,001	0,016	-1,844	-1,78
	Curtosis	1,491	0,023	-0,002	0,061	1,375	1,62
angulo1	Rango	69					
	Mínimo	0					
	Máximo	69					
	Media	17,08	0,065	0	0,06	16,96	17,21
	Desviación estándar	13,693		0	0,031	13,631	13,751
	Varianza	187,507		0,014	0,843	185,811	189,102
	Asimetría	0,216	0,012	0	0,007	0,202	0,23
	Curtosis	-1,031	0,023	0	0,011	-1,053	-1,008
angulo2	Rango	45					
	Mínimo	0					
	Máximo	45					
	Media	4,96	0,027	0	0,03	4,91	5,02
	Desviación estándar	5,814		0,001	0,032	5,757	5,88
	Varianza	33,805		0,008	0,371	33,142	34,569
	Asimetría	1,648	0,012	0,001	0,021	1,609	1,693
	Curtosis	3,324	0,023	0,006	0,147	3,042	3,633
angulo3	Rango	50					
	Mínimo	0					
	Máximo	50					
	Media	7,55	0,032	0	0,03	7,48	7,61
	Desviación estándar	6,864		0,001	0,034	6,799	6,934
	Varianza	47,11		0,02	0,468	46,225	48,086
	Asimetría	1,144	0,012	0,001	0,022	1,102	1,19
	Curtosis	2,439	0,023	0,002	0,116	2,227	2,673
distBaseFu	Rango	14,3					
	Mínimo	0					
	Máximo	14,3					
	Media	0,07752793	0,00208599	-7,1875E-05	0,00205503	0,07339788	0,08158564
	Desviación estándar	0,44254456		-0,00052163	0,01138569	0,42057606	0,46606048
	Varianza	0,196		0	0,01	0,177	0,217
	Asimetría	8,853	0,012	-0,036	0,635	7,645	10,119
	Curtosis	123,144	0,023	-1,53	24,978	77,071	173,333

Al terminar el proceso de corrección de la colinealidad entre las variables se seleccionaron las siguientes 11: altura, edad en días, X, Y, Diamecuat, perimbasa, anginclin, angulo1, angulo2, angulo3, distBaseF, ya que son variables cuantitativas y presentaron correlaciones más altas, es decir, son las variables explicativas que presentaron mayor relación con la variable explicada (altura). La tabla 6 muestran que el 70% de las variables seleccionadas tienen un porcentaje alto (>0.30) de relación con la variable altura, pero también se visualiza una relación importante entre cada una de las variables que acompañan a la altura del árbol.

Tabla 6. Correlaciones entre Variables Biométricas

		Correlaciones											
		altura	edad	diencia	X	Y	Diamecuat	perimbasa	angincln	angulo1	angulo2	angulo3	distBaseFu
altura	Correlación de Pearson	1	.085**	.063**	.159**	.799**	.727**	.384**	.626**	.357**	.084**	.133**	
	Sig. (bilateral)		.000	.000	.000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	.000	.000	
	N	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	
	Bootstrap <sup>c</sup> Sesgo	0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	Error estándar	0	.005	.004	.005	.002	.003	.003	.003	.004	.004	.005	.005
Intervalo de confianza a 95%	Inferior	1	.076	.055	.150	.794	.721	.379	.620	.348	.075	.123	
	Superior	1	.095	.072	.168	.803	.732	.390	.632	.365	.093	.143	
edad	Correlación de Pearson	.085**	1	.400**	-.050**	.041**	.059**	-.138**	.060**	.103**	.089**	.048**	
	Sig. (bilateral)	.000		0,000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	
	N	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	
	Bootstrap <sup>c</sup> Sesgo	.000	0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	
	Error estándar	.005	0	.004	.006	.004	.004	.004	.005	.004	.005	.003	
Intervalo de confianza a 95%	Inferior	.076	1	.392	-.062	.033	.051	-.146	.051	.094	.079	.043	
	Superior	.095	1	.408	-.039	.050	.067	-.131	.069	.111	.099	.055	
X	Correlación de Pearson	.063**	.400**	1	.500**	.055**	.076**	-.065**	.032**	.077**	-.006	.057**	
	Sig. (bilateral)	.000	0,000		0,000	.000	.000	.000	.000	.000	.191	.000	
	N	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	
	Bootstrap <sup>c</sup> Sesgo	.000	.000	0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	
	Error estándar	.004	.004	0	.004	.004	.004	.005	.005	.004	.005	.003	
Intervalo de confianza a 95%	Inferior	.055	.392	1	.493	.046	.068	-.074	.024	.069	-.016	.050	
	Superior	.072	.408	1	.507	.064	.084	-.055	.041	.084	.003	.063	
Y	Correlación de Pearson	.159**	-.050**	.500**	1	.188**	.204**	.061**	.102**	.042**	-.039**	.012**	
	Sig. (bilateral)	.000	.000	0,000		0,000	0,000	.000	.000	.000	.000	.012	
	N	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	
	Bootstrap <sup>c</sup> Sesgo	.000	.000	.000	0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	
	Error estándar	.005	.006	.004	0	.004	.004	.005	.005	.004	.004	.004	
Intervalo de confianza a 95%	Inferior	.150	-.062	.493	1	.180	.195	.053	.092	.034	-.047	.005	
	Superior	.168	-.039	.507	1	.197	.212	.070	.111	.051	-.030	.019	
Diamecuat	Correlación de Pearson	.799**	.041**	.055**	.188**	1	.834**	.400**	.537**	.281**	.102**	.130**	
	Sig. (bilateral)	0,000	.000	.000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	.000	.000	
	N	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	
	Bootstrap <sup>c</sup> Sesgo	.000	.000	.000	.000	0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	
	Error estándar	.002	.004	.004	.004	0	.002	.003	.004	.004	.004	.005	
Intervalo de confianza a 95%	Inferior	.794	.033	.046	.180	1	.829	.395	.530	.272	.093	.121	
	Superior	.803	.050	.064	.197	1	.839	.406	.544	.290	.110	.140	
perimbasa	Correlación de Pearson	.727**	.059**	.076**	.204**	.834**	1	.361**	.490**	.289**	.088**	.106**	
	Sig. (bilateral)	0,000	.000	.000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	.000	.000	
	N	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	
	Bootstrap <sup>c</sup> Sesgo	.000	.000	.000	.000	.000	0	.000	.000	.000	.000	.000	
	Error estándar	.003	.004	.004	.004	.002	0	.003	.004	.005	.004	.005	
Intervalo de confianza a 95%	Inferior	.721	.051	.068	.195	.829	1	.355	.483	.280	.080	.096	
	Superior	.732	.067	.084	.212	.839	1	.366	.498	.298	.097	.115	
angincln	Correlación de Pearson	.384**	-.138**	-.065**	.061**	.400**	.361**	1	.558**	.378**	.489**	-.154**	
	Sig. (bilateral)	0,000	.000	.000	.000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	.000	
	N	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	
	Bootstrap <sup>c</sup> Sesgo	.000	.000	.000	.000	.000	.000	0	.000	.000	.000	.000	
	Error estándar	.003	.004	.005	.005	.003	.003	0	.002	.002	.003	.004	
Intervalo de confianza a 95%	Inferior	.379	-.146	-.074	.053	.395	.355	1	.553	.374	.484	-.161	
	Superior	.390	-.131	-.055	.070	.406	.366	1	.563	.383	.494	-.147	
angulo1	Correlación de Pearson	.626**	.060**	.032**	.102**	.537**	.490**	.558**	1	.606**	.407**	-.219**	
	Sig. (bilateral)	0,000	.000	.000	.000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	
	N	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	
	Bootstrap <sup>c</sup> Sesgo	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	0	.000	.000	.000	
	Error estándar	.003	.005	.005	.005	.004	.004	.002	0	.004	.004	.004	
Intervalo de confianza a 95%	Inferior	.620	.051	.024	.092	.530	.483	.553	1	.599	.400	-.226	
	Superior	.632	.069	.041	.111	.544	.498	.563	1	.613	.416	-.211	
angulo2	Correlación de Pearson	.357**	.103**	.077**	.042**	.281**	.289**	.378**	.606**	1	.389**	-.149**	
	Sig. (bilateral)	0,000	.000	.000	.000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	.000	
	N	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	
	Bootstrap <sup>c</sup> Sesgo	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	0	.000	.000	
	Error estándar	.004	.004	.004	.004	.004	.005	.002	.004	0	.005	.003	
Intervalo de confianza a 95%	Inferior	.348	.094	.069	.034	.272	.280	.374	.599	1	.379	-.154	
	Superior	.365	.111	.084	.051	.290	.298	.383	.613	1	.400	-.144	
angulo3	Correlación de Pearson	.084**	.089**	-.006	-.039**	.102**	.088**	.489**	.407**	.389**	1	-.193**	
	Sig. (bilateral)	.000	.000	.191	.000	.000	.000	0,000	0,000	0,000		0,000	
	N	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	
	Bootstrap <sup>c</sup> Sesgo	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	0	.000	
	Error estándar	.004	.005	.005	.004	.004	.004	.003	.004	.005	0	.003	
Intervalo de confianza a 95%	Inferior	.075	.079	-.016	-.047	.093	.080	.484	.400	.379	1	-.199	
	Superior	.093	.099	.003	-.030	.110	.097	.494	.416	.400	1	-.186	
distBaseFu	Correlación de Pearson	.133**	.048**	.057**	.012**	.130**	.106**	-.154**	-.219**	-.149**	-.193**	1	
	Sig. (bilateral)	.000	.000	.000	.012	.000	.000	.000	0,000	.000	.000		
	N	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	45008	
	Bootstrap <sup>c</sup> Sesgo	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	0	
	Error estándar	.005	.003	.003	.004	.005	.005	.004	.004	.003	.003	0	
Intervalo de confianza a 95%	Inferior	.123	.043	.050	.005	.121	.096	-.161	-.226	-.154	-.199	1	
	Superior	.143	.055	.063	.019	.140	.115	-.147	-.211	-.144	-.186	1	

Tabla 7. Diagnóstico de colinealidad

Modelo	Autovalor	Índice de condición	Proporciones de varianza												
			(Constante)	edad en días	Y	X	Diamecuat	perimbasa	anginclin	Diampolar	angulo1	angulo2	angulo3	distBaseFu	
1	8,737	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	
2	1,136	2,774	,00	,00	,00	,01	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,01	,02	,34
3	,961	3,015	,00	,00	,00	,11	,00	,00	,00	,01	,00	,00	,01	,01	,04
4	,684	3,575	,00	,00	,00	,12	,01	,02	,00	,00	,00	,00	,01	,01	,02
5	,503	4,168	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,01	,01	,25	,04	,09	,09
6	,279	5,598	,00	,00	,00	,02	,01	,02	,00	,01	,00	,14	,28	,01	,03
7	,203	6,553	,00	,00	,00	,01	,04	,27	,00	,04	,00	,02	,01	,01	,03
8	,185	6,877	,00	,00	,00	,00	,00	,06	,01	,25	,22	,00	,04	,02	,02
9	,111	8,855	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,09	,19	,19	,19	,08	,00	,00
10	,080	10,451	,00	,00	,00	,00	,17	,06	,26	,05	,00	,16	,16	,14	,14
11	,069	11,252	,00	,00	,00	,00	,26	,27	,06	,02	,01	,01	,02	,02	,08
12	,050	13,279	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,18	,11	,26	,01	,01	,20	,20
13	,003	54,623	,99	,26	,29	,01	,00	,00	,02	,01	,00	,01	,02	,00	,00

## 4.2 Calculo del Modelo

Al haber determinado las variables explicativas de la variable altura, se realizó la regresión robusta de M-estimaciones, debido a las características atípicas de las variables y de la Base de datos en General.

### 4.2.1 Ajuste por colinealidad

García, J. L., Chagolla, H., & Noriega, S. (2015), mostraron varias técnicas de corrección, o manejo de la colinealidad, entre estos se planteó el que elegimos para el presente trabajo, que consiste en Eliminar una o más variables correlacionadas del análisis. Para la determinación de las variables que se integrarán en el nuevo modelo, generalmente se emplean técnicas de análisis multivariado Este enfoque es aceptado por ser reduccionista y simplificar el modelo, sin embargo reduce el rango de las variables explicativas (pg. 31).

Con los resultados obtenidos del ajuste lineal (*Tabla 8. Ajuste lineal*) se evidencia que el coeficiente de correlación múltiple (R múltiple), y su coeficiente de determinación ( $R^2$ ), expresan la proporción de varianza de la variable altura que está explicada por las variables explicativas, además que el estadístico F es diferente de 1 nos ayuda a rechazar la hipótesis de igualdad de medias.

Tabla 8. Ajuste lineal

Error estándar residual: 2.209 sobre 44.997 grados de libertad  
R-cuadrado Múltiple: 0.7245, R-cuadrado ajustado: 0.7244  
F-estadística: 1.183e + 04, el 10 y 44 997 DF, p-valor: <2.2e-16

En la *Tabla 9. Coeficientes*, se puede ver que la variable altura tiene una relación lineal significativa con las variables explicativas y que esta relación no se ve sustancialmente alterada tras controlar el efecto de las otras variables

Coefficients:										
(Intercep)	edadendias	X	Y	Diamecuat	perimbasa	anginclin	angulo1	angulo2	angulo3	distBaseFu
!6,666E!01	9,475E!04	!1,708E!05	3,654E!06	6,470E!01	1,337E+00	3,263E!03	1,059E!01	1,821E!02	!7,413E!02	1,087E+00

### 4.2.2 Validación de supuestos

Para la construcción de modelos de Regresión lineal clásicos, se deben validar los siguientes supuestos:

Independencia, este supuesto lo evaluamos por medio de la prueba de Durbin-Watson, para los residuos correlacionados serialmente, debido a que el resultado obtenido es  $DW = 1.3231, p - \text{value} < 2.2e - 16$ . Concluimos que los residuos son completamente independientes con una correlación negativa.

Homocedasticidad, este fue evaluado por medio de la prueba de Breusch-Pagan obteniendo los siguientes resultados  $BP = 5896.6, df = 10, p - \text{value} < 2.2e - 16$  que indican que las variables son heterocedásticas.

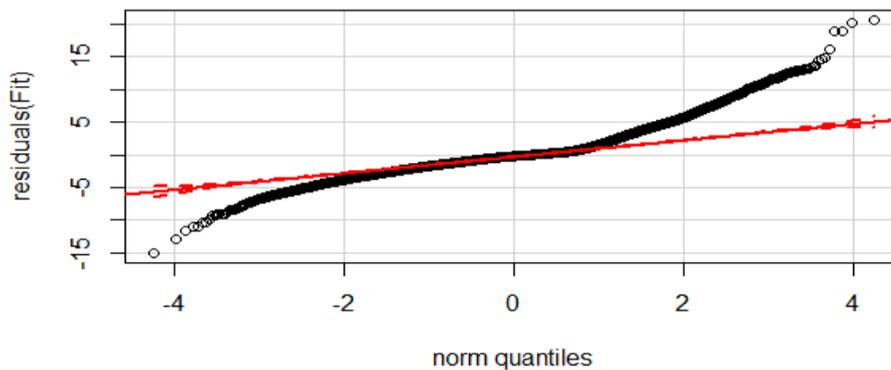


Ilustración 6. Gráfico de Residuales

Como en este caso no funciona este modelo por presencia de datos atípicos y porque se violan los supuestos, entonces se plantea el modelo lineal robusto.

### 4.2.3 Construcción del Modelo

Utilizando el modelo lineal Robusto y, usando el m-estimador, se obtienen los siguientes resultados:

$$\begin{aligned}
 \text{altura} = & -6.666e - 01 + 9.475e - 04 (\text{edadendias}) + -1.708e - 05(X) + 3.654e - 06(\square) \\
 & + 6.470e - 01(\text{Diamecuat}) + 1.337e + 00(\text{perimbasa}) + 3.263e - 03(\text{anginclin}) \\
 & + 1.059e - 01(\text{angulo1}) + 1.821e - 02(\text{angulo2}) - 7.413e - 02(\text{angulo3}) \\
 & + 1.087e + 00(\text{distBaseFu})
 \end{aligned}$$

## Capítulo 5. Discusión

En el manejo de Bases de Datos se presenta datos atípicos, sin embargo en algunas Bases, estos datos atípicos presentan una mayor concentración lo cual dificulta el tratamiento de la misma.

Para generar un modelo a partir de la información tratada, es necesario dar un buen manejo a las Bases de datos, por ende se debe verificar el cumplimiento de las premisas nos encontramos con la medida de sin embargo, como lo expresan García, Chagolla & Noriega (2006), Frecuentemente existe la necesidad de explicar una variable o conjunto de variables en función de otras.

Ahora bien, cuando una variable es explicada por otras, existe una relación entre ellas, la correlación mide la asociación que existe entre las variables. Por esta razón aplicamos la prueba de Durbin-Watson y realizamos el diagnósticos de la colinealidad.

El diagnóstico de colinealidad mostró las tolerancias de las variables individuales y una variedad de estadísticos para diagnosticar los problemas de colinealidad. La colinealidad es una situación no deseable en la que una de las variables independientes es una función lineal de otras variables independientes. Así mismo, por medio del Test de Durbin-Watson, para los residuos correlacionados serialmente, se encontró que este estadístico oscila entre  $[0, 4]$  e indican (uclm):

- Cuando los residuos son completamente independientes toman el valor de 2.
- Cuando existe autocorrelación positiva toman valore mayores de 2
- Cuando existe autocorrelación negativa toman valores menores de 2.
- Los residuos son independientes si el estadístico de D-W está entre 1,5 y 2,5.
- También muestra estadísticos de resumen para los residuos y los valores pronosticados.

En otros términos, Faraday (2014), indica que cuando los errores que siguen otra distribución, se debe considerar otro método de ajuste del modelo, porque unos pocos casos extremos pueden tener un gran efecto en el modelo ajustado. Para este proyecto, los valores extremos realmente se observaron y son parte del proceso que estamos tratando de modelar. Por lo cual la regresión robusta se consideró el mejor mecanismo ya que está diseñada para estimar la relación media entre los predictores y la respuesta,  $EY = X\beta$ .

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	-2,47E+02	4,45E+01	-5.549	2.9e-08 ***
edadendias	2,57E-01	9,02E-03	28.488	< 2e-16 ***
X	-8,18E-03	5,76E-04	-14.207	< 2e-16 ***
Y	2,61E-03	2,39E-04	10.922	< 2e-16 ***
Diamecuat	1,08E+02	1,04E+00	104.141	< 2e-16 ***
Perimbasa	1,41E+02	6,75E+00	20.934	< 2e-16 ***
Anginclin	6,94E+00	7,39E-02	93.812	< 2e-16 ***
angulo1	2,49E+01	1,92E-01	129.596	< 2e-16 ***
angulo2	-7,62E-01	3,66E-01	-2.081	0.0375 *
angulo3	-4,30E+00	2,96E-01	-14.512	< 2e-16 ***
distBaseFu	3,74E+02	4,03E+00	92.892	< 2e-16 ***

Signif. Codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.3494 on 44997 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.8303, Adjusted R-squared: 0.8303  
 F-statistic: 2.202e+04 on 10 and 44997 DF, p-value: < 2.2e-16

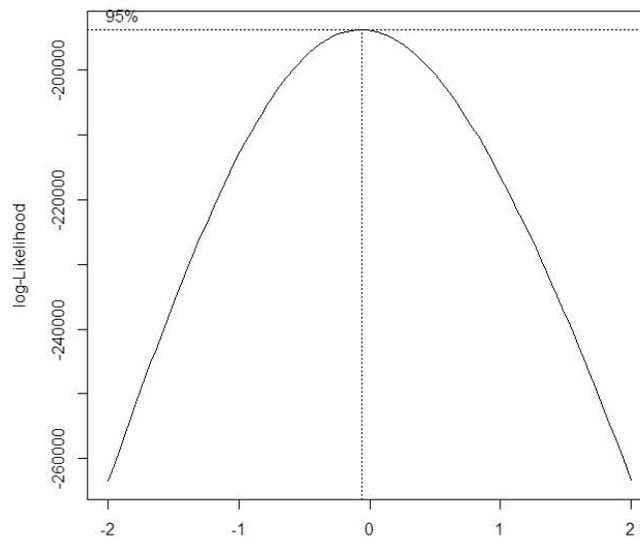


Ilustración 7. Gráfica de la variable de los datos.

Se utilizó la prueba Breusch-Pagan (Florax et al., 2003) la cual evidencio heteroscedasticidad en residuos del modelo.

## Capítulo 6. Conclusiones

Las variables que resumen otra variable dentro de la base de datos, pueden generar un R bastante alto, que afectara el análisis real de los datos.

- La colinealidad de 6 variables entre sí, genero dificultades en el desarrollo del modelo.
- La variable que más definía la variable dependiente fue la edad en días y el tamaño del fuste.
- Las Bases de datos con datos tan atípicos como la manejada en el Jardín Botánico de Bogotá, debe ser trabajada por medio de Regresiones Robustas para poder aprovechar al máximo la información registrada.
- Al correr el modelo inicial, la respuesta puede verse desvirtuada, pues puede dar un dato que ya está dentro de la base de datos.
- La altura promedio de crecimiento proyectada es 4 metros y la media, 80 centímetros.
- El crecimiento de los árboles se proyecta de forma exponencial y aparentemente se relaciona el mismo al clima.
- Se deben colocar más puntos de control al modelo, debido a que la variación en el tamaño de cada especie genera ruido en el modelo.

## Capítulo 7. Lista de referencias

- [1] Jardín Botánico de Bogotá - DANE. (2005). *Manual Sistema de Captura Móvil*. Bogotá.
- [2] Javier Corral Rivas, O. A. (2010). *Modelos de crecimiento de árbol individual: Aplicación del Simulador BWINPro7*. Mexico: Xalapa.
- [3] Jardín Botánico de Bogotá. (2005). *Manual Sistema de Captura Móvil - Censo del Árbol urbano Bogotá*. Bogotá D.C.
- [4] Jardín Botánico de Bogotá. (2007). *MANUAL DEL CENCISTA Y AUXILIAR*. Bogotá D.C.: Dirección de Regulación, Planeación, Estandarización y Normalización - DIRPEN - Coordinación Estudios Estadísticos - Censo del Arbolado Urbano.
- [5] Pozo-Ruz, A. R.-A. (s.f.). *Sistema de posicionamiento global (GPS): Descripción, análisis de errores, aplicaciones y futuro*. Universidad de Málaga. Málaga: ETS Ingenieros de Telecomunicaciones.
- [6] Jardín Botánico de Bogotá. (2001). *Manual de Arborización para Bogotá*. Bogotá D.C.
- [7] Distrito Capital. (2003). decreto 472. *"Por el cual se reglamenta la arborización, aprovechamiento, tala, poda, trasplante o reubicación del arbolado urbano y se definen las responsabilidades de las entidades distritales en relación con el tema"*. Bogotá D.C.
- [8] Distrito Capital. (2010). Decreto Distrital 531. *"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"*. Bogotá D.C.
- [9] Jardín Botánico de Bogotá - DANE. (2005-2007). Censo del Arbolado Urbano Bogotá D.C. - CAU 2005 - 2007 . *Censo*. Bogotá D.C.
- [10] uclm. (s.f.). Obtenido de REGRESIÓN LINEAL CON SPSS: [https://www.uclm.es/profesorado/raulmmartin/Estadistica/PracticasSPSS/REGRESION\\_LINEAL\\_CON\\_SPSS.pdf](https://www.uclm.es/profesorado/raulmmartin/Estadistica/PracticasSPSS/REGRESION_LINEAL_CON_SPSS.pdf)
- [11] Calaza Martínez, P. (2007). *Revisión bibliográfica y análisis comparativo de métodos de evaluación de riesgo de arbolado urbano. Caso particular: La Coruña*. Univ Santiago de Compostela.
- [12] Jardín Botánico de Bogotá. *Planes Locales de Arborización Urbana*. Bogotá D.C. 2.008 *Plan de Silvicultura y Jardinería Urbana del Jardín Botánico de Bogotá D.C - 2014*
- [13] Boa, E. (2008). *Guía ilustrada sobre el estado de salud de los árboles: reconocimiento e interpretación de síntomas y daños (No. H01-02)*. FAO. OIRSA.
- [14] Anaya, C. R. (1997). *Poda de árboles ornamentales*. TGM. *Diseño, construcción y mantenimiento de espacios verdes.*, 5(3), 30-34.

- [15] Cortés Cortés, Y. *Aproximaciones a la valoración económica ambiental para los árboles patrimoniales de Bogotá (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).*
- [16] Forigua Pache, O. J. (2014). *Estudio para la identificación de individuos arbóreos con susceptibilidad al volcamiento en la ciudad de Bogotá.*
- [17] Vargas-Larreta, B., Corral-Rivas, J., Aguirre-Calderón, Ó., & Nagel, J. (2010). *Modelos de crecimiento de árbol individual: Aplicación del Simulador BWINPro7. Madera y bosques, 16(4), 81-104.*
- [18] Muñoz, F., Espinosa, M., HERRERA, M. A., & Cancino, J. (2005). *Características del crecimiento en diámetro, altura y volumen de una plantación de Eucalyptus nitens sometida a tratamientos silvícolas de poda y raleo. Bosque (Valdivia), 26(1), 93-99.*
- [19] Del Valle-Arango, J. (1995). *Evaluación del crecimiento diamétrico de árboles de humedales forestales del Pacífico Colombiano. Interciencia, 20, 273-282.*
- [20] González, G. L. (2006). *Los árboles y arbustos de la Península Ibérica e Islas Baleares: especies silvestres y las principales cultivadas (Vol. 1). Mundi-Prensa Libros.*
- [21] Castellanos, H., Angulo, H. R., Acevedo, M. F., Delgado, L. A., & Serrano, J. (2005). *Relaciones alométricas y patrones de crecimiento para especies de árboles de la reserva forestal Imataca, Venezuela. Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América, 30(5), 275-283.*
- [22] El BLOGVERDE.COM, Artículo, Tipos De Árboles, 18 SEP 2015 - Escrito por Blanca Espada.
- [23] Carvalho, P. E. R. (2002). *Bracatinga.*
- [24] Monsalvo, V. S., García, J. G. S., Hernández, J. J. V., Upton, J. L., & Mata, J. J. (2003). *Parámetros genéticos y respuesta a la selección en características del crecimiento de Cedrela odorata L. Revista Fitotecnia Mexicana, 26(1), 19-27.*
- [25] Ferro Medina, G. (2010). *ARBOLES CIUDADANOS en la memoria y en el paisaje cultural de Bogotá.*
- [26] Stoddard, C. H. 1968. *Essentials of forestry practice. The Ronald Press Company. Nueva York. 362 p.*
- [27] Williams-Linera, G. (1996). *Crecimiento diamétrico de árboles caducifolios y perennifolios del bosque mesófilo de montaña en los alrededores de Xalapa. Madera y Bosques, 2(2), 53-65.*
- [28] Roth, I. (1969). *Características estructurales de la corteza de árboles tropicales en zonas húmedas. Darwiniana, 115-127.*

- [29] Hanover, JW (1980). *El control de crecimiento de los árboles*. *BioScience*, 30(11), 756-762.
- [30] Pozo-Ruz, A., Ribeiro, A., García-Alegre, M. C., García, L., Guinea, D., & Sandoval, F. (2000). *Sistema de posicionamiento global (GPS): Descripción, análisis de errores, aplicaciones y futuro*. ETS Ingenieros de Telecomunicaciones. Universidad de Málaga.
- [31] Corzo, G. T. (2013). *Aproximación a la silvicultura urbana en Colombia*. *Bitácora Urbano-Territorial*, 1(22), 5.
- [32] Díaz, A. (2009). *Diseño estadístico de experimentos 2a Ed*. Universidad de Antioquia.
- [33] Abuín, J. R. (2007). *Regresión lineal múltiple*. *IdEyGdM-Ld Estadística*, Editor, 32.
- [34] Vallejo, H. E., & Aguilar, C. (2002). *Integración regional y atracción de inversión extranjera directa: el caso de América Latina (Vol. 13)*. CEDE, Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico, Facultad de Economía, Universidad de los Andes.
- [35] Yohai, V. J. (1979). *Regresión robusta*. CEMA.
- [36] González, E. L. (1998). *Tratamiento de la colinealidad en regresión múltiple*. *Psicothema*, 10(2), 491-507.
- [37] García, J. L., Chagolla, H., & Noriega, S. (2006). *MODELOS: EFECTOS DE LA COLINEALIDAD EN EL MODELADO DE REGRESIÓN Y SU SOLUCIÓN*. *CULCyT*, (17).
- [38] Koenker, R. (1981). *A note on studentizing a test for heteroscedasticity*. *Journal of Econometrics*, 17(1), 107-112.
- [39] Faraway, J. J. (2014). *Linear models with R*. CRC Press.
- [40] Asbún, C., & Ferreira, Y. (2004). *Autoeficacia profesional y género en adolescentes de cuarto de secundaria de la zona sur de la ciudad de La Paz*. *Ajayu Órgano de Difusión Científica del Departamento de Psicología UCBS*, 2(1), 12-20.

## Capítulo 8. Anexos

### Anexo 1. Listado de especies vegetales (árboles, arbustos y palmas).

No	Nombre Común	Código	Nombre Científico	Fisiología	Tipo
1	Araucaria	Ae	Araucaria excelsa	Perennifolia	Árbol
2	Araucaria crespá	Ab	Araucaria brasilensis	Perennifolia	Árbol
3	Ciprés, Pino ciprés, Pino	Cl	Cupressus lusitánica	Perennifolia	Árbol
4	Pino candelabro	PR	Pinus radiata	Perennifolia	Árbol
5	Pino pátula	Pp	Pinus pátula	Perennifolia	Árbol
6	Ciprés italiano	Cs	Cupressus	Perennifolia	Árbol
7	Pino hayuelo	Pm	Prumnopitys montana	Perennifolia	Árbol
8	Ciprés enano	Cp	Chamaecyparis	Perennifolia	Árbol
9	Pino azul	Pn	Psoralea pinnata	Perennifolia	Árbol
10	Pino australiano	Ce	Casuarina	Perennifolia	Árbol
11	Pino colombiano, pino de pacho,	Nr	Nageia rospligiosii	Perennifolia	Árbol
12	Pino chaquiro	Po	Podocarpus oleifolius	Perennifolia	Árbol
13	Eucalipto común	Cq	Eucalyptus globulus	Perennifolia	Árbol
14	Eucalipto pomarroso	Ef	Eucalyptus ficifolia	Perennifolia	Árbol
15	Eucalipto plateado	Ec	Eucalyptus cinerea	Perennifolia	Árbol
16	Eucalipto de flor, eucalipto	Ci	Callistemon citrinus	Perennifolia	Árbol
17	Eucalipto	Ec	Eucalyptus	Perennifolia	Árbol
18	Palma de cera, Palma blanca	Pq	Ceroxylon	Perennifolia	Palma
19	Palma coquito	Po	Parajubaea cocoides	Perennifolia	Palma
20	Palma yuca, palmiche	Ye	Yucca elephantipes	Perennifolia	Palma
21	Palma fénix	Pn	Phoenix canariensis	Perennifolia	Palma
22	Palma washingtoniana	Wf	Washingtonia filifera	Perennifolia	Palma
23	Helecho palma	Tf	Trichipteris frigida	Perennifolia	Palma
24	Urapán, Fresno	Fc	Fraxinus chinensis	Semicaducif	Árbol
25	Acacia japonesa	Am	Acacia melanoxylon	Perennifolia	Árbol
26	Acacia negra, gris	Ad	Acacia decurrens	Perennifolia	Árbol.
27	Acacia de jardín	Ac	Acacia calamifolia	Perennifolia	Árbol
28	Acacia bracatinga, acacia	Al	Albizzia lophanta	Perennifolia	Árbol
29	Acacia blanca, leucaena	Le	Leucaena	Perennifolia	Árbol
30	Carbonero rojo	Cc	Calliandra carbonaria	Perennifolia	Árbol
31	Carbonero rosado, carbonero	Ct	Calliandra pitteri	Perennifolia	Árbol
32	Aliso, fresno, chaquiro	Aa	Allnus acuminata	Semicaducif	Árbol
33	Cedro, cedro andino, cedro clavel	Co	Hederla montana	Caducifolio	Árbol
34	Nogal, cedro nogal, cedro negro	Jn	Juglans neotrópica	Semicaducif	Árbol
35	Roble	Qh	Quercus humboldtii	Perennifolia	Árbol
36	Caucho de la india, caucho	Fe	Ficus elástica	Semicaducif	Árbol
37	Caucho sabanero	Fs	Ficus soatensis	Semicaducif	Árbol
38	Caucho Tequendama	Ft	Ficus tequendamae	Semicaducif	Árbol
39	Cerezo, capulí	Ps	Prunus serotina	Semicaducif	Árbol
40	Durazno común	Pe	Prunus persica	Caducifolio	Árbol

41	Duraznillo, velitas	Ap	Abatia parviflora	Perennifolio	Árbol
42	Eugenia	Em	Eugenia myrtifolia	Semicaducif	Árbol
43	Grevilia, roble australiano	Gr	Grevillea robusta	Semicaducif	Árbol
44	Guayacán de Manizales	Lp	Lafoensia speciosa	Caducifolio	Árbol
45	Hojarasco	Tc	Talauma caricifragans	Caducifolio	Arbusto
46	Liquidámbar, estoraque	Ls	Liquidámbar	Caducifolio	Árbol
47	Magnolio	Mg	Magnolia grandiflora	Perennifolia	Árbol
48	Sangregao, drago, croto	Cb	Cortón bogotensis	Perennifolia	Árbol
49	Sauce llorón	Sh	Sáliz humboldtiana	Perennifolia	Árbol
50	Alcaparro doble	Sv	Senna viarum	Perennifolia	Árbol
51	Alcaparro enano	Su	Senna	Perennifolia	Árbol
52	Amarrabollo	Mn	Meriania nobilis	Perennifolia	Árbol
53	Arboloco	Sp	Smallanthus	Perennifolia	Árbol
54	Cajeto, garagay, urapo	Cf	Cytharexylum	Caducifolio	Árbol
55	Cedrilla	Pl	Phyllanthus	Perennifolia	Árbol
56	Corono	Xs	Xylosma spiculiferum	Perennifolia	Árbol
57	Cucharo	Mu	Myrsine guianensis	Perennifolia	Árbol
58	Falso pimienta	Sm	Schinus molle	Perennifolia	Árbol
59	Gaque	Cu	Clusia multiflora	Perennifolia	Árbol
60	Jasmín de la china	LI	Ligustrum licidium	Semicaducif	Arbusto
61	Jasmín del cabo, laurel huesito	Pu	Pittosporum	Perennifolia	Arbusto
62	Laurel de cera (hoja pequeña)	Mp	Myrica parvifolia	Perennifolia	Árbol
63	Laurel de cera	Mb	Myrica pubescens	Perennifolia	Árbol
64	Mangle de tierra fría	Ep	Escalonia péndula	Perennifolia	Árbol
65	Mano de oso	Of	Oreopanax	Perennifolia	Árbol
66	Mortiño	Hg	Hesperomeles	Perennifolia	Arbusto
67	Raque, San juanito	Vs	Vallea stipularis	Perennifolia	Árbol
68	Sietecueros nazareno	Tu	Tibouchina urvilleana	Perennifolia	Árbol
69	Sietecueros real	TI	Tibouchina lepidota	Perennifolia	Árbol
70	Tíbar, pagoda o rodamonte	Ea	Escallonia paniculata	Perennifolia	Árbol
71	Yarumo	Ca	Cecropia angustifolia	Perennifolia	Árbol
72	Abutilón blanco	An	Abutilón insigne	Perennifolia	Arbusto
73	Abutilón rojo y amarillo	As	Abutilón striatum	Perennifolia	Arbusto
74	Arrayán	MI	Myrcianthes leucoxylla	Perennifolia	Arbusto
75	Brevo	Fa	Ficus carica	Caducifolio	Árbol
76	Papayuelo	Cu	Carica pubescens	Semicaducif	Árbol
77	Calistemo llorón	Cv	Callistemon viminalis	Perennifolia	Árbol
78	Cayeno	Hr	Hibiscus rosasinensis	Perennifolia	Árbol
79	Chicalá, chirlobirlo, flor amarillo	Ts	Tecoma stans	Caducifolio	Árbol
80	Chilco	Bf	Bacharis floribunda	Perennifolia	Árbol
81	Chocho	Er	Eritrina rubrinervia	Caducifolio	Árbol
82	Ciro	Bn	Bacharis nitida	Perennifolia	Arbusto
83	Ciruelo	Pd	Prunus doméstica	Caducifolio	Árbol

84	Dividivi de tierra fría	Cn	Caesalpinia spinosa	Caducifolio	Árbol
85	Espino	Dm	Duranta mutisii	Perennifolia	Árbol
86	Feijoa	Ac	Acca sellowiana	Perennifolia	Arbusto
87	Gurrubo	Sl	Solanum lycioides	Perennifolia	Árbol
88	Hayuelo	Dv	Dodonea viscosa	Perennifolia	Árbol
89	Higuerillo	Rc	Ricinus communis	Perennifolia	Arbusto
90	Higuerón	Fg	Ficus gigntosyce	Semicaducif	Árbol
91	Holly espinoso	Pc	Pyracantha coccinea	Perennifolia	Arbusto
92	Holly liso	Cm	Cotoneaster multiflora	Perennifolia	Arbusto
93	Plátano de tierra fría	Ev	Ensete ventricusum	Perennifolia	Arbusto
94	Sauco	Sn	Sambucus	Perennifolia	Arbusto
95	Trompeto	Br	Bocona frutescens	Perennifolia	Árbol
96	Tuno roso	Cp	Centronia spp.	Perennifolia	Árbol
97	Aguacate	Pa	Persea americana	Semicaducif	Árbol
98	Sombrilla japonesa	Ep	Euphorbia	Semicaducif	Arbusto
99	Guamo santafereño	Ib	Inga bogotensis	Perennifolia	Árbol
10	Encenillo	Wt	Weinmannia	Perennifolia	Árbol
10	Álamo de lombardía	Pt	Populus tremuloides	Perennifolia	Árbol
10	Tomate de árbol	Cb	Cyphomandra	Semicaducif	Árbol
10	Mandarina	Cn	Citrus nobilis	Semicaducif	Árbol
10	Garrocho	Vt	Viburum tinoides	Perennifolia	Árbol
10	Café	Ca	Coffea arabica	Semicaducif	Arbusto

## Anexo 2. Ilustración de algunas variaciones en el aspecto de los árboles.

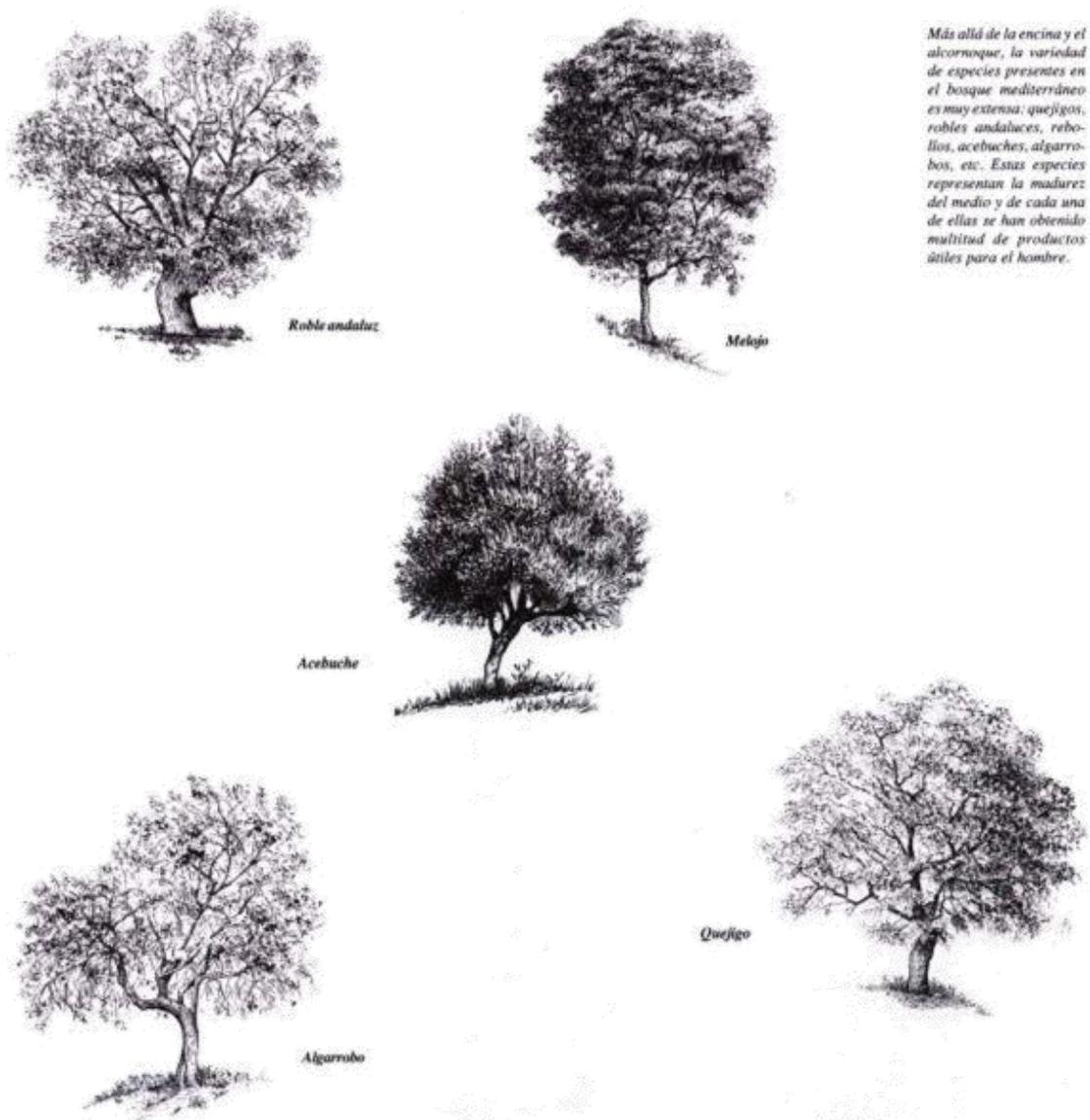


Ilustración 8. Vegetación de árboles representantes del clima Mediterráneo. Recuperado de <http://adevaherranz.es/GEOGRAFIA/ESPANA/FISICA/VEGETACION/>

### Anexo 3. Resultado inicial descripción barrido inicial de la información.

Los datos que se analizaron en este documento son la base de datos perteneciente al Jardín Botánico de Bogotá, José Celestino Mutis, quienes nos facilitaron la información arbórea de 4 localidades de Bogotá, las cuales son: de Candelaria, Santafé, Ciudad Bolívar y Suba, con un total de 45.008 datos y 28 variables.

Tabla 10. Distribución arbórea de 4 Localidades.

LOCALIDAD	N° ÁRBOLES	ACACIA BRACATINGA	ACACIA JAPONESA	ACACIA NEGRA	CHICALÁ AMARILLA
CIUDAD BOLÍVAR	8.440,00	2.308,00	1.631,00	2.779,00	1.992,00
SANTA FE	7.964,00	208,00	3.297,00	4.314,00	145,00
CANDELARIA	1.168,00	7,00	793,00	341,00	27,00
SUBA	27.436,00	5.377,00	8.465,00	6.705,00	6.889,00
<b>TOTAL DE ÁRBOLES</b>	<b>45.008,00</b>	<b>7.900,00</b>	<b>14.186,00</b>	<b>14.139,00</b>	<b>9.053,00</b>

La localidad que más arboles aporta al estudio es la localidad de suba, y en ella existen más acacias japonés que en las demás localidades como también tiene más chicalas amarillos, lo que nos permite tener una buena muestra para evaluar las alturas.

La Ilustración 9, nos muestra la distribución arbórea de las 4 localidades por los 4 tipos arbóreos que están en el estudio.

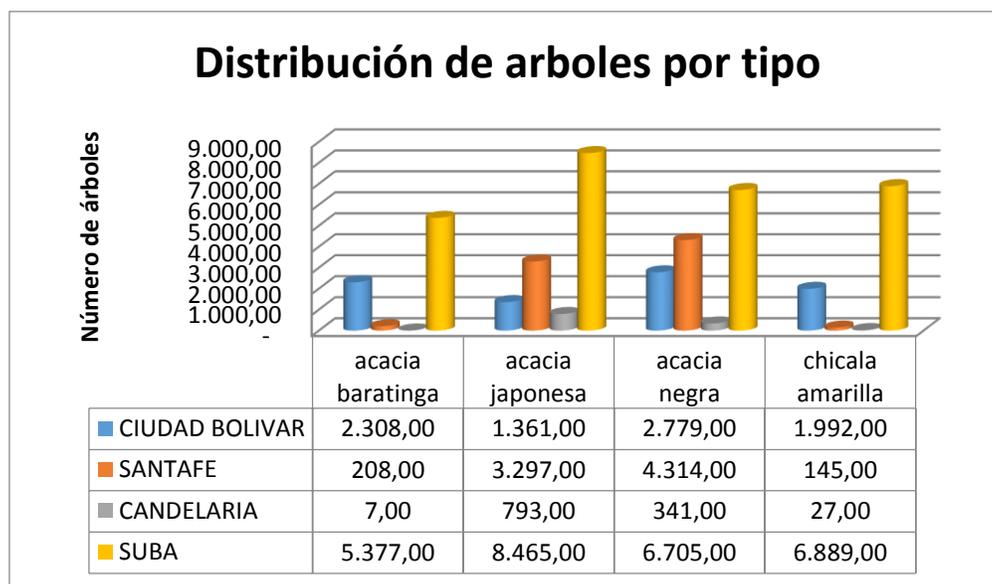


Ilustración 9. Distribución de árboles por tipo

La Ilustración 10 nos muestra el número de árboles que tiene cada localidad y su tipo.

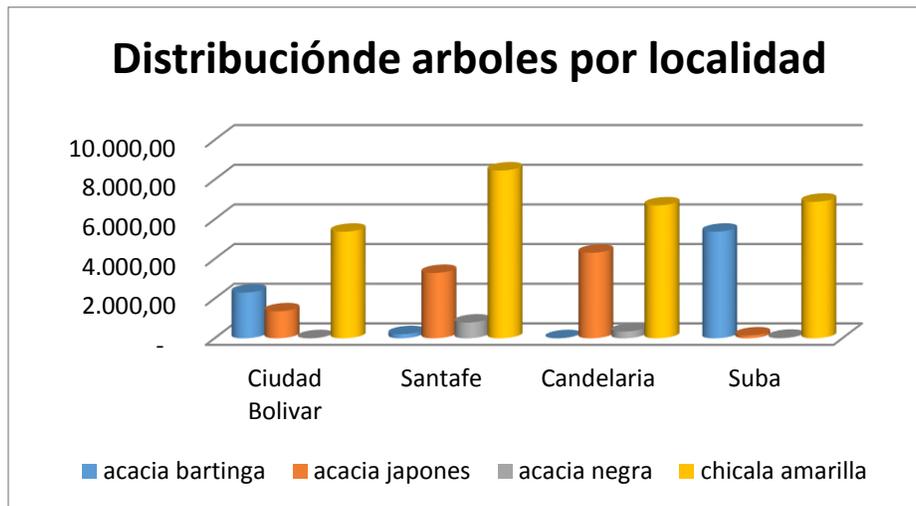


Ilustración 10. Distribución de árboles por localidad.

Aquí se presenta la cantidad de datos por localidad, que son la base del estudio

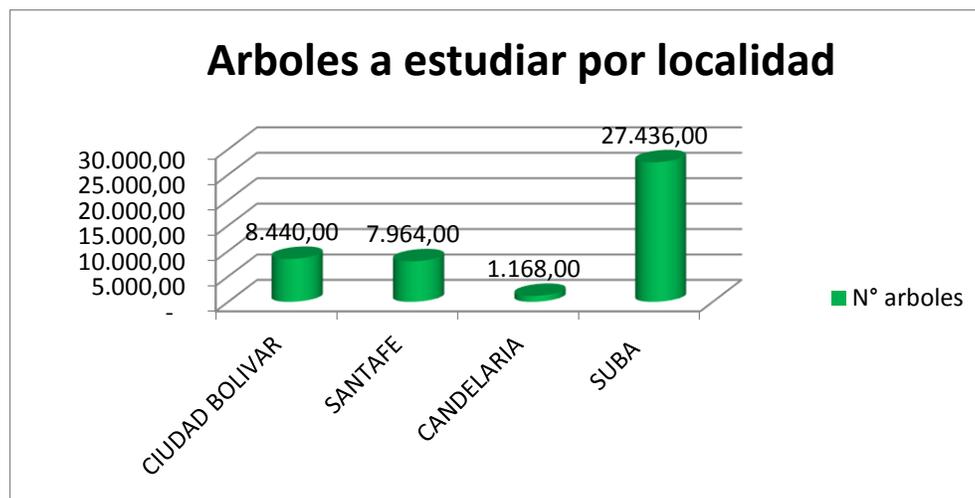


Ilustración 11. Arboles a estudiar por localidad a estudiar.

Teniendo en cuenta lo anterior, se tomó el promedio de cada uno de los tipos de árbol a estudiar y la distribución en la localidad. De esta manera se pudo visualizar que según el censo del 2005-2007, los árboles más altos para estos tipos, median 7.40 y son del tipo de acacia negra los cuales se ubican en la localidad de suba, cabe resaltar que aunque hay de ese mismo tipo en las 4 localidades, la mayor altura se evidencio en suba.

El tipo de árbol más bajo se visualizó en la localidad de Ciudad Bolívar y es el tipo de árbol chicalá amarilla, con un a mediad de 2 metros con 11 centímetros, y de este tipo el más alto midió 3 metros con 75 centímetros.

Tabla 11. Distribución altura de árboles en 4 Localidades

ÁRBOL/LOCALIDAD	CIUDAD BOLÍVAR	SANTA FE	CANDELARIA	SUBA
ACACIA BRACATINGA	3,74	3,70	2,44	5,61
ACACIA JAPONESA	4,34	4,41	5,00	6,28
ACACIA NEGRA	6,74	4,49	5,04	7,40
CHICALÁ AMARILLA	2,11	3,19	3,47	3,75

La Ilustración 12 nos muestra cómo está la distribución por alturas por tipo de árbol y localidad.

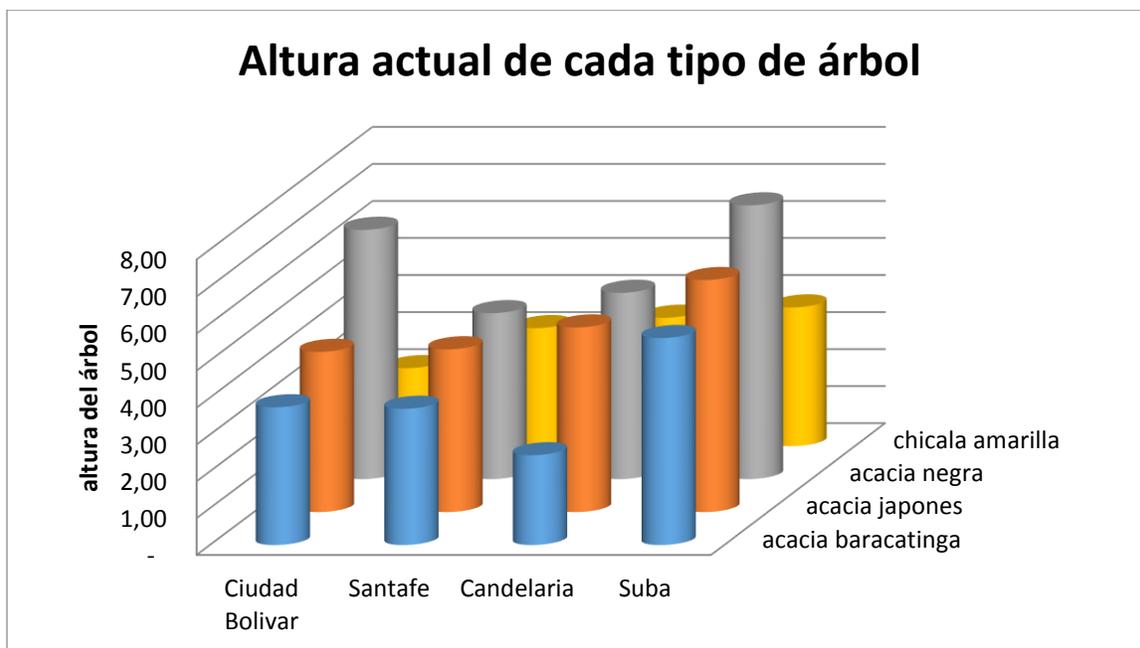


Ilustración 12. Altura actual de cada tipo de árbol.

Anexo 4 Mapa distribución arbórea localidad de Suba.

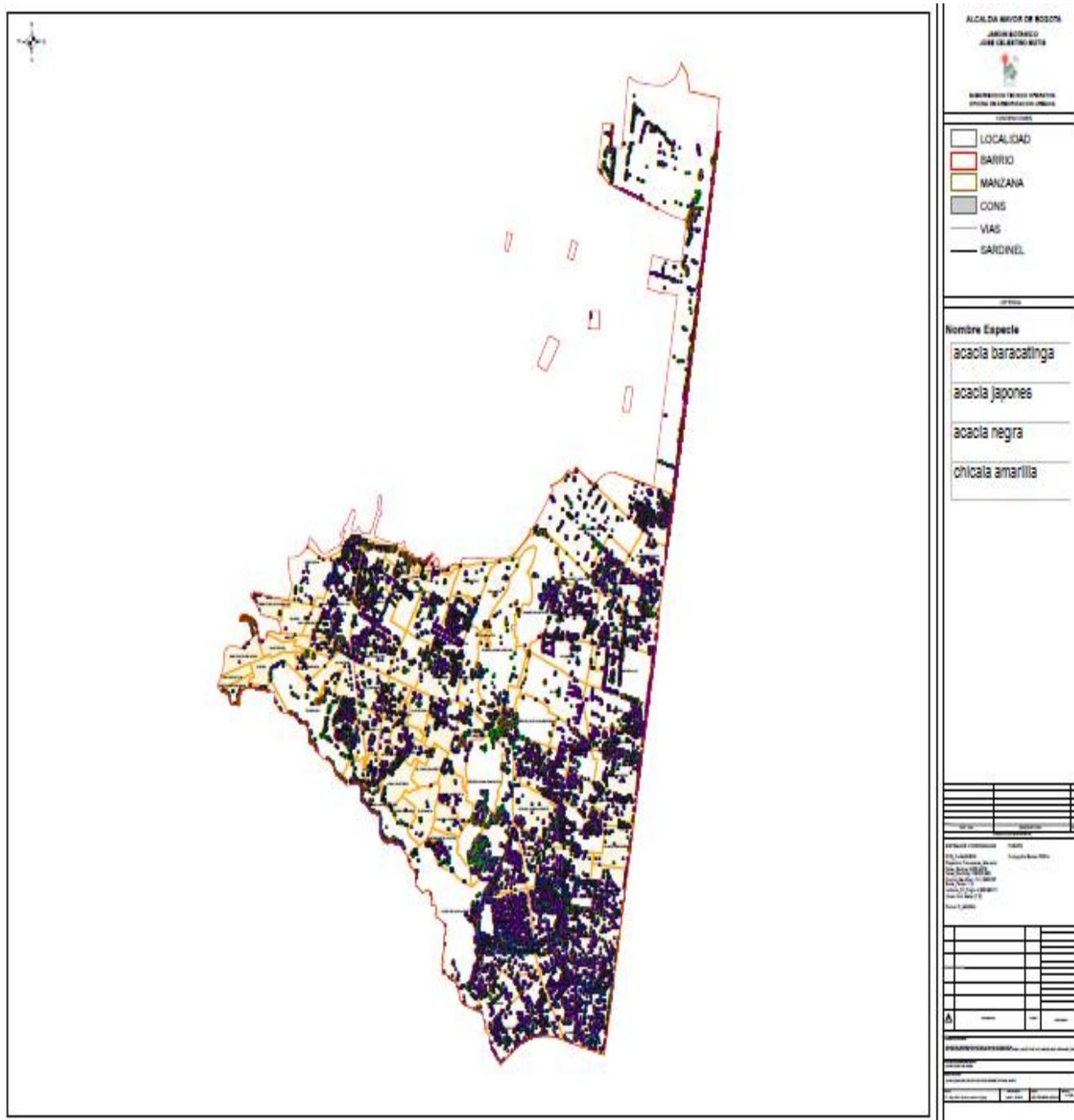


Ilustración 13. Mapa distribución arbórea localidad de Suba.

Anexo 5 Mapa distribución arbórea localidad de Santa Fe.

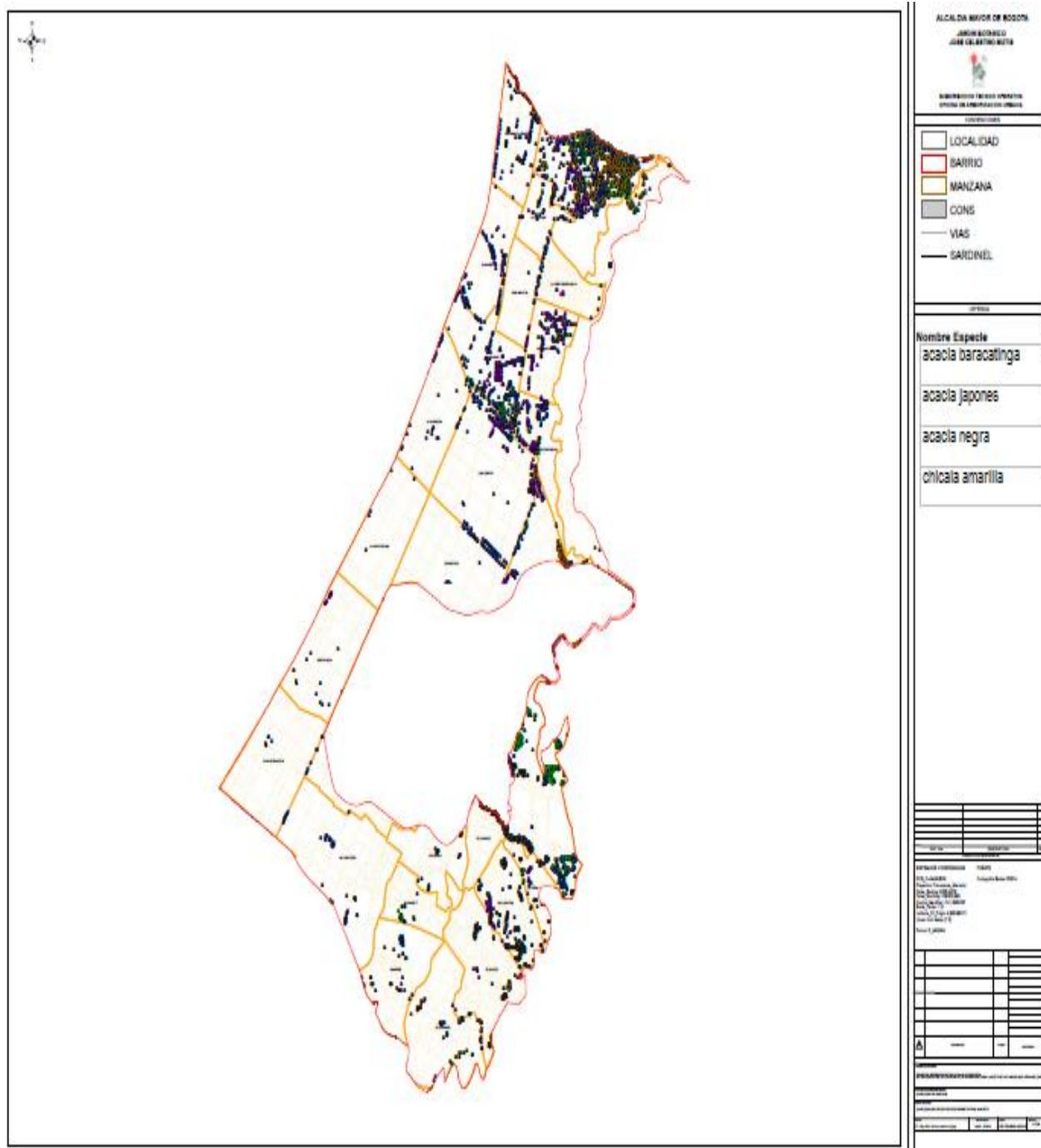


Ilustración 14. Mapa distribución arbórea localidad de Santa Fe.

Anexo 6. Mapa distribución arbórea localidad de Candelaria.

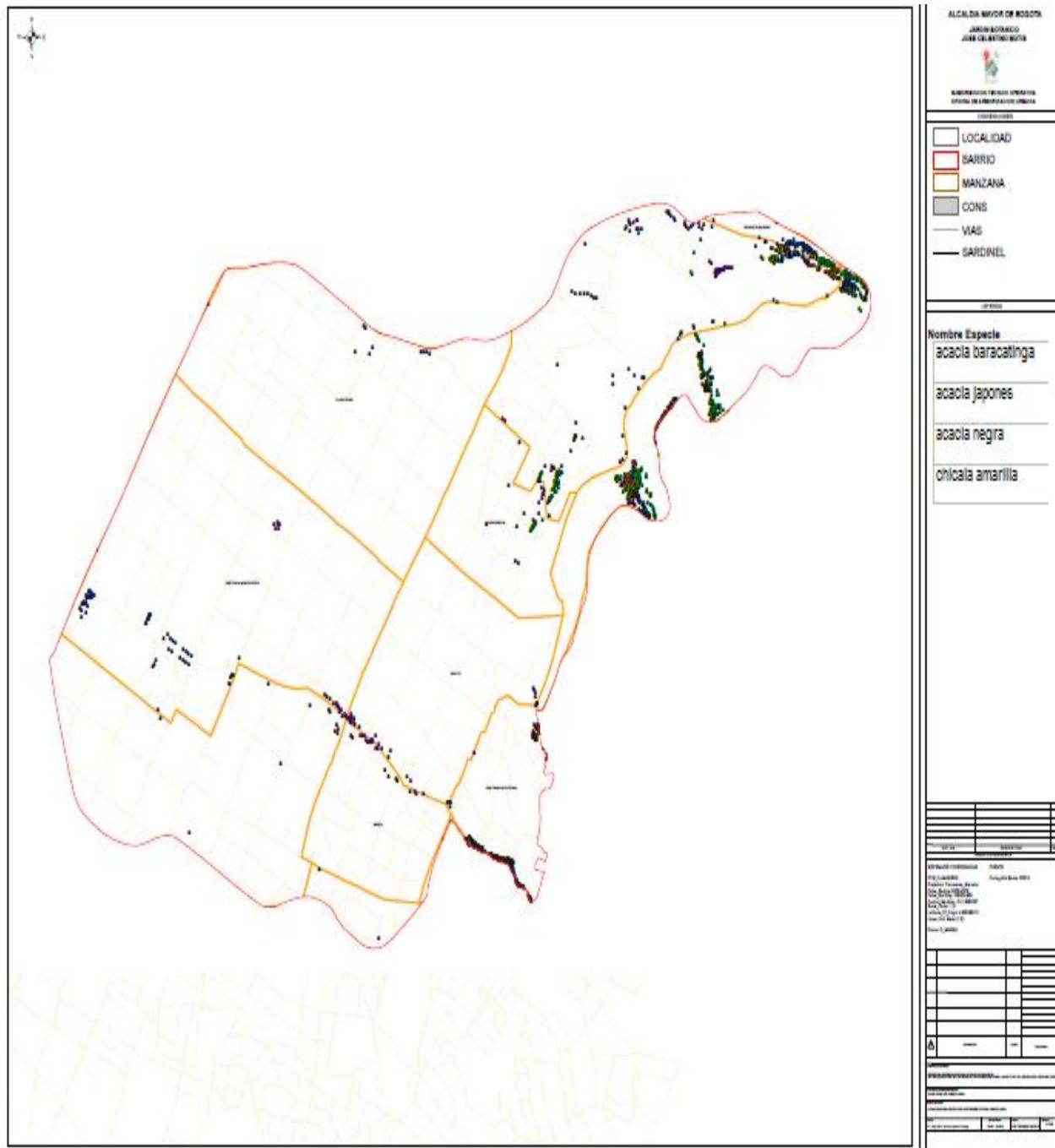


Ilustración 15. Mapa distribución arbórea localidad de Candelaria.

Anexo 7. Mapa distribución arbórea localidad de Ciudad Bolívar.

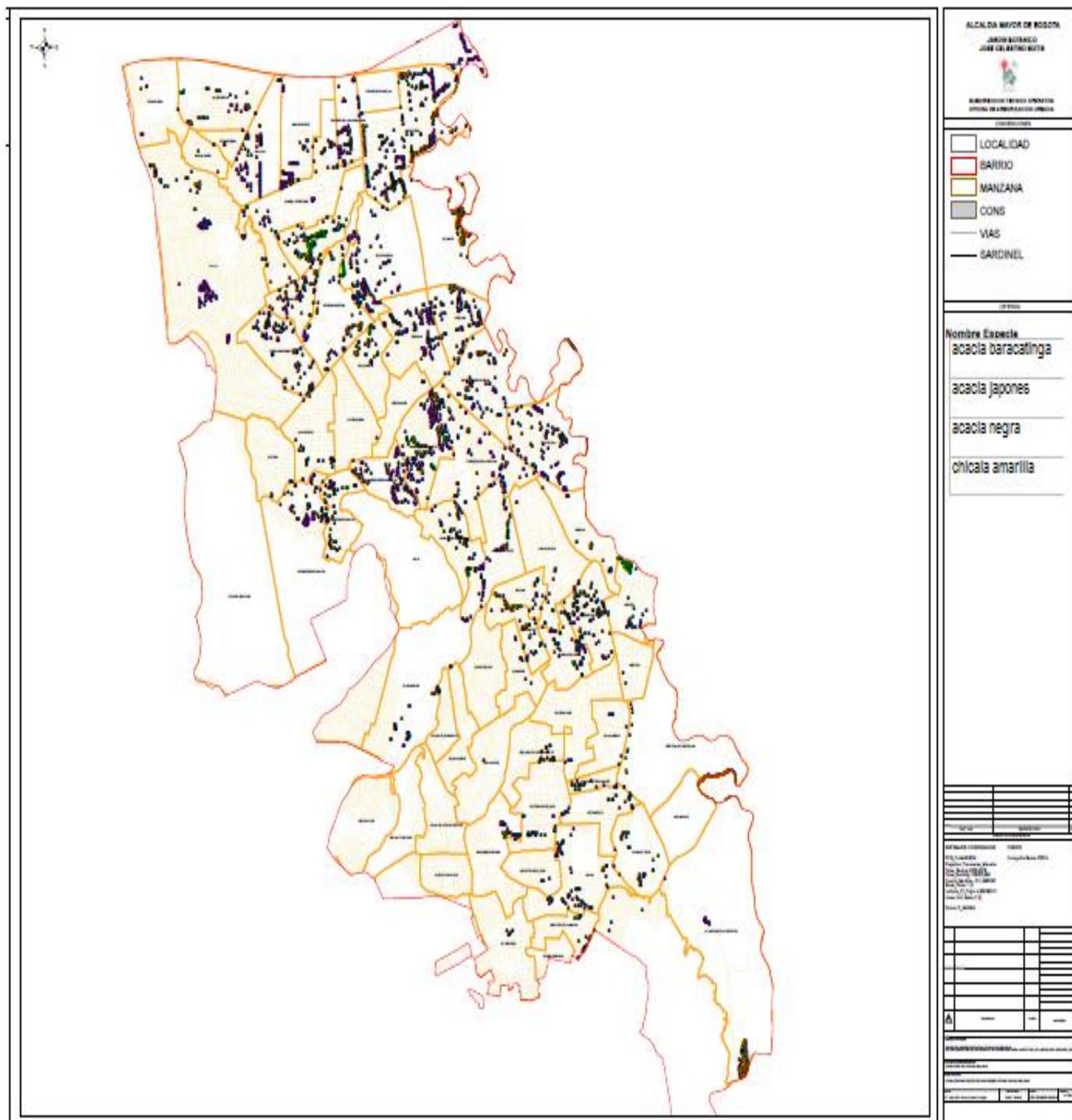


Ilustración 16. Mapa distribución arbórea localidad de Ciudad Bolívar.

