



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

**Trabajo de titulación presentado como requisito previo a la obtención del
título de Ingeniero Forestal**

DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE EMISIÓN Y CAPTURA DE CARBONO EN EL ARBOLADO DE LAS AVENIDAS DE CUATRO PARROQUIAS URBANAS DEL CANTÓN IBARRA

AUTOR

Juan Pablo Farinango Solano

DIRECTOR

Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, Mgs.

IBARRA - ECUADOR

2020

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE EMISIÓN Y CAPTURA DE CARBONO EN EL ARBOLADO DE LAS AVENIDAS DE CUATRO PARROQUIAS URBANAS DEL CANTÓN IBARRA

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza la presentación como
requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

APROBADO

FIRMA

Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, Mgs.
Director de trabajo de titulación



Ing. Hugo Orlando Paredes Rodríguez, Mgs
Tribunal de trabajo de titulación



Ing. Eduardo Jaime Chagna Ávila, Mgs
Tribunal de trabajo de titulación



Ing. Jorge Luis Ramírez López M.Sc.
Tribunal de trabajo de titulación



Ibarra - Ecuador
2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art.- 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
Cédula de ciudadanía:	100351799-0		
Nombres y apellidos:	Juan Pablo Farinango Solano		
Dirección:	San Antonio de Ibarra		
Email:	juan.fari@hotmail.com		
Teléfono fijo:	06 2 933333	Teléfono móvil:	0988744281

DATOS DE LA OBRA	
Título:	DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE EMISIÓN Y CAPTURA DE CARBONO EN EL ARBOLADO DE LAS AVENIDAS DE CUATRO PARROQUIAS URBANAS DEL CANTÓN IBARRA
Autor:	Farinango Solano Juan Pablo
Fecha:	09 de noviembre de 2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
Programa:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
Título por el que opta:	Ingeniero Forestal
Director:	Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, Mgs

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 09 días del mes de noviembre de 2020

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: Juan Pablo Farinango Solano

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA - UTN

Fecha: Ibarra, 09 de noviembre de 2020

Juan Pablo Farinango Solano: **DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE EMISIÓN Y CAPTURA DE CARBONO EN EL ARBOLADO DE LAS AVENIDAS DE CUATRO PARROQUIAS URBANAS DEL CANTÓN IBARRA.** /Trabajo de titulación. Ingeniero Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 09 de noviembre del 2020. 71 páginas.

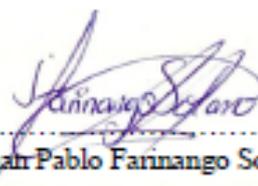
DIRECTOR: Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, Mgs

El objetivo principal de la presente investigación fue: Determinar la relación de emisión y captura de carbono en el arbolado de las avenidas de las parroquias urbanas del cantón Ibarra. Entre los objetivos específicos se encuentran: Cuantificar las especies forestales de las avenidas principales del casco urbano de la ciudad de Ibarra, Determinar la biomasa aérea y el carbono de las especies presentes en las avenidas del casco urbano de la ciudad de Ibarra y Establecer la relación existente entre la emisión y captura de carbono en el casco urbano de la ciudad de Ibarra

Fecha: Ibarra, 09 de noviembre de 2020



.....
Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, Mgs.
Director de trabajo de titulación



.....
Juan Pablo Farinango Solano

DEDICATORIA

A mis padres Miguel Farinango y Lucia Solano, por brindarme su amor, confianza, a ellos quienes son mi principal influencia en la vida, quienes nunca se rindieron y que con su sacrificio y esfuerzo diario hicieron posible que hoy pueda cumplir una meta más en mi vida, de igual manera a mis hermanos Biviana, Javier, Rubén y Charito que siempre me apoyaron para seguir adelante.

¡Gracias Familia!

AGRADECIMIENTO

A toda mi familia que me brindó su apoyo incondicional. Especialmente a mis padres que siempre me apoyaron en todo.

A los docentes de la Universidad Técnica del Norte y de la Carrera de Ingeniería Forestal, por brindarme su conocimiento.

A mis amigos con quienes compartimos buenos y malos momentos dentro y fuera del aula, a lo largo de nuestra vida universitaria.

¡Gracias a todos con quienes hicimos llevadero nuestro tiempo en la universidad!

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Págs.
PORTADA.....	i
REGISTRO BIBLIOGRÁFICO	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURA.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	2
1.1.1 General.....	2
1.1.2 Específicos.....	2
1.2 Preguntas directrices	2
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Fundamentación legal	3
2.1.1 Constitución de la República del Ecuador 2008.....	3
2.1.2 Código Orgánico del Ambiente (COA)	3
2.1.3 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD, 2012)	5
2.1.4 Plan Nacional de Desarrollo Toda una vida 2017 – 2021	5
2.1.5 Línea de investigación	6

2.2 Fundamentación teórica	6
2.2.1 Cambio climático	6
2.2.1.1 Cambio climático en las ciudades	6
2.2.2 Problemas ambientales.....	7
2.2.2.1 Problemas ambientales en la zona urbana	7
2.2.3 Silvicultura urbana	9
2.2.3.1 Bosque urbano	10
2.2.4. Dasimetría	10
2.2.4.2 Diámetro a la altura del pecho (DAP).....	11
2.2.4.3 Altura	11
2.2.5 Densidad	11
2.2.6 Biomasa.....	12
2.2.7 Dióxido de Carbono.....	13
2.2.7.1 Emisión de CO ₂ por fuentes móviles	13
2.2.7.2 Captura de carbono	13
2.2.8 Beneficios ambientales del arbolado urbano	14
2.2.8.1 Reducción de la temperatura y efectos micro climáticos.....	14
2.2.8.2 Mejora en la calidad del aire	14
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1 Ubicación del sitio	15
3.1.1 Política	15
3.1.2 Geográfica.....	15
3.1.3 Límites	15
3.2 Datos climáticos.....	15
3.3 Materiales, equipos y software	16
3.4 Metodología	16

3.4.1 Censo forestal.....	16
3.4.1.1 Identificación botánica.....	17
3.4.1.2 Características dasométricas	17
a) Diámetro a la altura del pecho (DAP)	17
b) Altura total	18
c) Abundancia relativa	18
3.4.2 Determinación de la densidad básica de las especies identificadas en el arbolado urbano.....	18
3.4.2.1 Cálculo de las densidades	19
3.4.3 Biomasa.....	19
a) Área basal.....	19
b) Volumen.....	20
c) Cálculo de la biomasa del fuste.....	20
d) Cálculo de la biomasa aérea.....	20
e) Cálculo de la biomasa de raíces.	21
f) Cálculo de la biomasa total	21
3.4.3.2 Captura de carbono de la biomasa aérea.....	22
3.4.3.3 Cálculo del CO ₂ equivalente almacenado	22
3.4.4 Estimación de emisión de Dióxido de Carbono CO ₂	23
3.4.5 Relación existente entre la emisión y captura de CO ₂	23
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1 Medición de las especies forestales de las avenidas del casco urbano de la ciudad de Ibarra.....	25
4.1.1 Identificación botánica.....	26
4.1.2 Abundancia relativa	27
4.2 Estimación de biomasa de las especies presentes en las ocho avenidas del casco urbano de la ciudad de Ibarra.....	30

4.2.2 Carbono almacenado.....	30
4.2.3 Estimación de CO ₂ capturado por el arbolado urbano.....	32
4.3 Estimación de emisión de Dióxido de Carbono CO ₂ producido por el parque automotor en la ciudad de Ibarra.....	33
4.4 Relación entre emisión y captura de dióxido de carbono CO ₂	35
CAPITULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	37
5.1. Conclusiones	37
5.2 Recomendaciones	38
CAPÍTULO VI	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
CAPÍTULO VII	
ANEXOS	47
Anexo 1. Ubicación del sitio.....	47
Anexo 2. Tablas	48
Anexo 3. Ilustraciones	53

ÍNDICE DE TABLAS

	Págs.
Tabla 1. Coordenadas área de estudio	15
Tabla 2. Componentes utilizados en la investigación	16
Tabla 3. Zonas de inicio y final del censo por avenida	16
Tabla 4. Consumo de Combustible en la Ciudad de Ibarra.....	48
Tabla 5. Tabla de Factores de Emisión de la Energy Information Administration (EIA) ..	49
Tabla 6. Identificación de Especies	50
Tabla 7. Distancia y número de árboles por avenidas.....	51
Tabla 8. Resultados del censo forestal	51

ÍNDICE DE FIGURA

	Págs.
Figura 1. Mapa de ubicación de Avenidas	25
Figura 2. Familias y géneros	26
Figura 3. Porcentaje de especies exóticas y nativas	28
Figura 4. Abundancia relativa	28
Figura 5. Estimación de biomasa	30
Figura 6. Carbono almacenado	31
Figura 7. Estimación de CO ₂ capturado	32
Figura 8. Estimación de las emisiones de CO ₂ por tipo de combustible.....	34
Figura 9. Estimación de las emisiones de CO ₂ en Ibarra	34
Figura 10. Relación de emisión y captura de CO ₂	35
Figura 11. Mapa de ubicación del cantón San Miguel de Ibarra.....	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 .Identificación de especies.....	53
Ilustración 2. Medición de DAP.....	53
Ilustración 3. Medición de diámetro de copa	54
Ilustración 4. Obtención de muestras con el barreno de Pressler	54
Ilustración 5. Etiquetado de muestras.....	55
Ilustración 6. Pesaje de muestras.....	55

TITULO: DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE EMISIÓN Y CAPTURA DE CARBONO EN EL ARBOLADO DE LAS AVENIDAS DE CUATRO PARROQUIAS URBANAS DEL CANTÓN IBARRA.

Autor: Juan Pablo Farinango Solano

Director de trabajo de titulación: Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, Mgs.

Año: 2020

RESUMEN

La investigación se realizó en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura. El objetivo fue determinar la relación de emisión y captura de carbono en ocho avenidas de la ciudad. La investigación se dividió en dos fases, la primera de campo donde se realizó un censo forestal a los individuos con un diámetro a la altura del pecho (DAP) ≥ 10 cm, además se tomó muestras botánicas y vegetativas para su posterior identificación y cuantificación de biomasa y carbono. Así también, se obtuvo los registros de consumo de combustible generados por la Agencia de Regulación y Control de Hidrocarburos (ARCH), para la estimación de emisiones de CO₂. La segunda fase de laboratorio se realizó en el Herbario y en el Laboratorio de Investigaciones Ambientales (LABINAM) de la UTN. Se registró 1 002 árboles de 17 familias, 26 géneros y 28 especies, siendo *Schinus molle* L., *Fraxinus excelsior* L., *Spathodea campanulata* P. Beauv, *Callistemon citrinus* (curtis) skeels y *Jacaranda mimosifolia* D.Don. Las especies de mayor abundancia. El CO₂ capturado fue de 2 640,22 tn, en relación a 4 127,8 tn de CO₂ emitidas por el parque automotor estimados para el año 2017, mitigando el 63,96% de estas emisiones, se debería incrementar 565 árboles más para compensar el 36,04% restante de CO₂ producto de la combustión de diésel y gasolina emitido por los vehículos en la ciudad de Ibarra.

Palabras clave: censo forestal, captura de carbono, biomasa, emisión de carbono

TITLE: DETERMINATION OF THE CARBON EMISSION AND CAPTURE RATIO IN THE TREES OF THE AVENUES OF FOUR URBAN PARISHES OF THE IBARRA CANTON.

Author: Juan Pablo Farinango Solano

Director of degree work: Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, Mgs.

Year: 2020

ABSTRACT

The investigation was carried out in the city of Ibarra, Imbabura province. The objective was to determine the relationship of carbon emission and capture in eight avenues of the city. The investigation was divided into two phases, the first in the field where a forest census was carried out on individuals with a diameter at breast height (DBH) ≥ 10 cm, in addition, botanical and vegetative samples were taken for their subsequent identification and quantification of biomass and carbon. Likewise, the fuel consumption records generated by the Agency for the Regulation and Control of Hydrocarbons (ARCH) were obtained, for the estimation of CO₂ emissions. The second phase of the laboratory was carried out in the Herbarium and in the Environmental Research Laboratory (LABINAM) of the UTN. 1 002 trees from 17 families, 26 genera and 28 species were recorded, being *Schinus molle* L., *Fraxinus excelsior* L., *Spathodea campanulata* P.Beauv., *Callistemon citrinus* (Curtis) Skeels and *Jacaranda mimosifolia* D.Don. The most abundant species. The CO₂ captured was 2 640.22 tn, in relation to 4 127.8 tn of CO₂ emitted by the vehicle fleet estimated for the year 2017, mitigating 63.96% of these emissions, an additional 565 trees should be increased to compensate the remaining 36.04% of CO₂ from the combustion of diesel and gasoline emitted by vehicles in the city of Ibarra.

Keywords: forest census, carbon dioxide, carbon sequestration, biomass, carbon emission

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El problema de cambio climático en el planeta, producto de las emisiones de CO₂ en exceso, producidos por el hombre, han generado problemas que se han hecho notar en zonas rurales y urbanas (Nowak y Crane, 2002). Las ciudades consumen el 75% de la energía en el mundo y producen el 80% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) (Chuanglin, Wang, y Li, 2015). El sector transporte genera el 14% de GEI. Producto del aumento exponencial de la población mundial, de la que el 54% vive en las ciudades, que para el año 2050 la cifra será de 66%. (ONU, 2014)

En el Ecuador, principalmente en las grandes ciudades como Quito, Guayaquil y Portoviejo, existe un notable aumento vehicular. Así también, en la ciudad de Ibarra según Bolaños (2015), el parque automotor tuvo un incremento del 8% anual. Por otro lado, el número de áreas verdes existente en la ciudad de Ibarra es escaso, tan solo de 1,77 m²/hab (PDOT-IBARRA, 2015). Respecto a los 10 m²/hab que establece la Organización mundial de la Salud (OMS), Ibarra tiene un déficit de áreas verdes de 8,23 m²/hab.

El arbolado urbano es un factor importante de mitigación al cambio climático, directamente por su acción fijadora de carbono, así también, por la generación de microclimas en la zona urbana, disminuyendo el efecto urbano denominado “isla de calor”. Conocer y manejar adecuadamente las especies forestales usadas en las áreas verdes urbanas, permitirá que las ciudades sean más resilientes a los efectos de cambio climático (Pitola, 2012).

Los inventarios florísticos urbanos son una herramienta importante para cuantificar los servicios prestados por la flora urbana (Keller y Konijnendijk, 2012). Sin conocer los detalles de la diversidad florística, no se puede establecer un plan de desarrollo estratégico factible para crear una zona urbana sana y viable. (Zürcher, 2017), Así mismo los gestores de la planificación urbana deben establecer especies en base a objetivos, que ayuden a la mitigación del cambio climático (Zhao, Kong, Escobedo, y Gao, 2010).

1.1 Objetivos

1.1.1 General

- Determinar la relación de emisión y captura de carbono en el arbolado de las avenidas de las parroquias urbanas del cantón Ibarra.

1.1.2 Específicos.

- Cuantificar las especies forestales de las avenidas principales del casco urbano de la ciudad de Ibarra
- Determinar la biomasa aérea y el carbono de las especies presentes en las avenidas del casco urbano de la ciudad de Ibarra.
- Establecer la relación existente entre la emisión y captura de carbono en el casco urbano de la ciudad de Ibarra

1.2 Preguntas directrices

- ¿Cuál es la composición florística de las avenidas de Ibarra?
- ¿Qué cantidad de biomasa y carbono se encuentra almacenado en el arbolado de las avenidas?
- ¿Cuál es la diferencia que existe entre la captura y emisión de CO₂?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentación legal

2.1.1 Constitución de la República del Ecuador 2008

Título II: DERECHOS: Capítulo segundo; Ambiente sano: Sección segunda; Derechos del buen vivir:

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Título VII: RÉGIMEN DEL BUEN VIVIR: Capítulo segundo; Biósfera, ecología urbana y energías alternativas: Sección séptima; Biodiversidad y recursos naturales:

Art. 414.-El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo

2.1.2 Código Orgánico del Ambiente (COA)

Libro preliminar

TÍTULO II. De los derechos, deberes y principios ambientales

Art. 3.- Fines. Son fines de este Código

Literal 6. Regular y promover el bienestar y la protección animal, así como el manejo y gestión responsable del arbolado urbano.

Literal 10. Establecer medidas eficaces, eficientes y transversales para enfrentar los efectos del cambio climático a través de acciones de mitigación y adaptación

Art. 5.- Derecho de la población a vivir en un ambiente sano. El derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado comprende.

Literal 12. La implementación de planes, programas, acciones y medidas de adaptación para aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad ambiental, social y económica frente a la variabilidad climática y a los impactos del cambio climático, así como la implementación de los mismos para mitigar sus causas.

Art. 7.- Deberes comunes del Estado y las personas. Son de interés público y por lo tanto deberes del Estado y de todas las personas, comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades y colectivos:

Literal 3. Crear y fortalecer las condiciones para la implementación de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.

Libro segundo del patrimonio natural

Capítulo II. Manejo responsable del arbolado urbano

Art. 152.- Del arbolado urbano para el desarrollo urbano sostenible. Con el fin de promover el desarrollo urbano sostenible, se reconoce como de interés público el establecimiento, conservación, manejo e incremento de árboles en las zonas urbanas, priorizando los árboles nativos en las zonas territoriales respectivas.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Metropolitanos o Municipales incluirán estas actividades en su planificación territorial como estrategias esenciales para disminuir la contaminación del aire y acústica, mejorar el microclima, fortalecer el paisaje y equilibrio ecológico, apoyar al control de las inundaciones, mitigar los efectos del cambio climático y adaptarse al mismo, favorecer la estética de las ciudades, promover oportunidades educativas ambientales, mejorar la calidad de vida, salud física y mental de los habitantes, entre otros. (Asamblea Nacional, 2017). Art 27 regular y controlar el manejo responsable de la fauna y arbolado urbano.

2.1.3 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD, 2012)

Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD)

Art. 424.- Porcentaje del área verde fraccionada

En toda urbanización y fraccionamiento del suelo, se entregará a la municipalidad, mínimo el diez por ciento y máximo el veinte por ciento calculado del área útil del terreno urbanizado o fraccionado, en calidad de áreas verdes y comunales. Tales bienes de dominio y uso públicos no podrán ser cambiados de categoría. Dentro del rango establecido, no se considerarán a los bordes de quebrada y sus áreas de protección, riberas de los ríos y áreas de protección, zonas de riesgo, playas y áreas de protección ecológica. Se prohíbe todo tipo de exoneración a la contribución de áreas verdes y comunales, excepto en función del lote mínimo vigente según la planificación territorial, en cuyo caso se compensará con el pago en dinero según el avalúo catastral (Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización [COOTAD], 2012, p.185- 186).

2.1.4 Plan Nacional de Desarrollo Toda una vida 2017 – 2021

El estudio se enmarca en los objetivos, políticas y lineamientos estratégicos siguientes:

Objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones

Políticas:

- **3.1** Conservar, recuperar y regular el aprovechamiento del patrimonio natural y social, rural y urbano, continental y marino-costero, que asegure y precautele los derechos de las presentes y futuras generaciones.
- **3.3** Promover buenas prácticas ambientales que aporten a la reducción de la contaminación, a la conservación, a la mitigación y a la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global.
- **3.5** Impulsar la generación de bio-conocimiento como alternativa a la producción primario-exportadora, así como el desarrollo de un sistema de bioseguridad que precautele las condiciones ambientales que pudieran afectar a las personas y otros seres vivos (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2017).

2.1.5 Línea de investigación

El estudio se enmarca en la línea de investigación de la carrera: Desarrollo agropecuario y forestal sostenible.

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 Cambio climático

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) definió el cambio climático como una modificación en el estado del clima que mediante el uso de pruebas estadísticas puede ser identificada por los cambios en la media y/o la variabilidad de sus propiedades y que persiste durante un periodo prolongado, típicamente décadas o más (Herrán, 2012).

Por su parte la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), se refiere a este fenómeno como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante periodos de tiempo comparables.

El producto de las diferentes actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles, transformación de bosques en tierras agrícolas, la utilización de fertilizantes nitrogenados, emisiones de metano del ganado (Fogel, 2012). La quema de combustibles fósiles para sustentar las actividades industriales y de transporte junto con la deforestación, resultan ser los principales responsables del aumento en las concentraciones atmosféricas del CO₂ (IPCC, 2005).

2.2.1.1 Cambio climático en las ciudades

Las áreas urbanas son los principales contribuidores al cambio climático; si bien cubren sólo el dos por ciento de la superficie de la tierra, producen más del 70 % de las emisiones de gas carbónico del mundo, además de enormes cantidades de otros GEI (Food and Agriculture Organization [FAO], 2017).

El cambio climático se relaciona estrechamente a la urbanización, ya que la mayor parte de actividad económica se genera en las ciudades, consumiendo el 75% de la energía mundial, y emiten gran parte del dióxido de carbono (CO₂) del mundo a medida que se urbanizan e industrializan rápidamente (Escobedo, Varela, Zhao, Wagner, y Zipperer, 2010). Al ser

acelerado el incremento poblacional y el incremento económico en las áreas urbanas, el ambiente se degrada más rápido, aumentando los efectos del cambio climático y los riesgos a desastres naturales (Trimiño, 2014).

2.2.2 Problemas ambientales

Son alteraciones que surgen por la mala relación y no planificación de las acciones humanas, como factor principal, provocando un desequilibrio en el ambiente, esto genera efectos negativos, llevado a la crisis ambiental actual (Tovar, 2007). Los problemas ambientales son uno de los principales desafíos del mundo industrializado, cuya continua producción de bienes de consumo requiere igualmente el continuo ingreso de materias primas, extraídas directamente de la naturaleza (Raffino, 2019). Aunque es claro que los centros urbanos interactúan con el ambiente, sólo últimamente los historiadores del ambiente han comenzado a tratar sistemáticamente esta cuestión (Tarr, 1998).

2.2.2.1 Problemas ambientales en la zona urbana

Los problemas ambientales de las ciudades crecen de manera exponencial con la reactivación económica urbana, producida por el aumento de la población y su ocupación de espacios de valor natural, el incremento del parque automotor particular el cual genera una mayor contaminación atmosférica (Crojethovich y Barsky, 2012). Las ciudades tienen una responsabilidad fundamental en la dinámica de los principales problemas ambientales contemporáneos, buena parte de las fuentes antrópicas de calor se originan en las ciudades, como la contaminación del aire, la contaminación sonora, la visual, los problemas de hacinamiento y falta de vivienda, de agua potable, de congestión en el tráfico, de crecimiento desordenado entre otras (Foladori, 2001).

La urbanización a nivel mundial hace medio siglo era un proceso sostenido, aunque la tasa está en disminución, en valores absolutos es creciente. Para los próximos años se estima que la población urbana mundial bordeará los 2 500 millones de habitantes (Fajre, 2001).

La población y economía mundial son hoy en día predominantemente urbanas. (Salvador, 2017). En América Latina el 80% de la población, habita en espacios urbanos de diversos tamaños, la concentración de la economía, la cultura, inversión y del poder político es aún más acentuada (ONU-Habit, 2012). La mayoría de las megas ciudades del mundo están

ubicadas en áreas de gran amenaza física, en los países en vías de desarrollo estas ciudades están tipificadas por niveles altos y crecientes de vulnerabilidad social (Lavell, 2005)

2.2.2.1.1 Incremento del parque automotor

Corresponde a la cantidad de vehículos motorizados y no motorizados que obtienen su respectivo permiso otorgados por las entidades rectoras de su país, para el año de referencia (Instituto Nacional de Estadística y Censo [INEC], 2015).

El sector transporte es el sector cuyas emisiones han crecido más rápido los últimos años (IPCC, 2007). La gran mayoría del crecimiento futuro se estaría dando en los países en desarrollo, siendo el crecimiento urbano un factor de importancia, según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) cerca del 88% de las emisiones del sector provienen del transporte terrestre (Hubenthal, 2010). Alrededor de la mitad de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generadas por el transporte en América Latina corresponden a carga principalmente proveniente de camiones medianos y pesados, juntos, estos exceden las emisiones de CO₂ de los vehículos ligeros de pasajeros en la región (Ríos, Arango, Vicentini, y Acevedo, 2013).

2.2.2.1.2 Emisiones de Dióxido de carbono (CO₂.)

Las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono son en principio resultado de la interacción de variables cuantitativas y cualitativas, entre las que se encuentran la población, la urbanización, la actividad económica, y la tecnología (Zilio, 2008).

Las emisiones de CO₂ se dan de forma natural en el ambiente, por diferentes aspectos como los incendios forestales o las erupciones volcánicas entre otras. El aumento de emisiones de CO₂ por actividades humanas tiene relación principalmente, por el consumo de combustibles fósiles (carbón, petróleo y sus derivados y gas natural) y leña para generar energía, por la tala y quema de los bosques (Benavides & León, 2007).

2.2.1.1.3 Hacinamiento

En la mayor parte del mundo las ciudades crecen de una forma vertiginosa, demográfica y territorialmente. Esto no responde a la evolución de la población, sino también a la necesidad de ubicarse cada vez más en las zonas urbanas. Actualmente alrededor del 60% de la población

mundial se concentra en las urbes, esta población consume las dos terceras partes de la energía y emite el 70% del CO₂ (Terradas, Franquesa, Parés, y Chaparro, 2011).

2.2.2.1.4. Isla de calor

Comúnmente se da el fenómeno de elevación de la temperatura en zonas urbanas densamente construidas (Pitola, 2012). Por sí mismas no son responsables del calentamiento global porque son fenómenos de pequeña escala y cubren tan solo una minúscula fracción de la superficie de la tierra, sin embargo, hay algunas conexiones urbano-globales dignas de mencionar (Voogt, 2008). Causado por una combinación de factores tales como la edificación, la falta de espacios verdes, los gases efecto invernadero y la generación de calor, denominado isla de calor. Se ha observado que este fenómeno aumenta con el tamaño de la ciudad y que es directamente proporcional al tamaño de la mancha urbana. Además, la relación entre las altas temperaturas urbanas y la falta de vegetación en la ciudad es directa, debido a la baja transformación de la energía solar incidente a través de procesos como la fotosíntesis (Pitola, 2012).

2.2.3 Silvicultura urbana

La silvicultura debe considerarse como una disciplina que se ocupa de los componentes vegetales de las áreas urbanas que son los componentes más frágiles en los ecosistemas urbanos (Chávez, 2018). Así también, Se refiere a la orientación planificada, integrada y sistemática del ordenamiento de árboles en zonas urbanas, con la aportación de los siguientes beneficios; fisiológico, sociológico y económico de la sociedad urbana. (Alanís, 2000). Cumpliendo así una escala multifacética, tratándose de las áreas verdes predominantes dentro de un ambiente urbanizado, que abarcan una gran variedad de hábitats, calles, parques, y rincones abandonados. Se ha olvidado, con frecuencia, que el árbol es el primer y gran protagonista del verde en la ciudad, y con mucha mayor razón en nuestras ciudades cálidas. La relación del árbol (y los espacios verdes por extensión) con la mejora del medio ambiente es estrecha y aparece con inmediatez (Canales, 2002)

Las nociones de confort y de calidad de vida van ligadas a la de bienestar que proporciona la vegetación urbana, moderando todas aquellas componentes agresivas (contaminación, ruidos, exceso de radiación) y compensando la aridez, el consumo de CO₂ y hasta la frialdad estética de las construcciones, basadas en lo mineral (Sukopp, 1990).

2.2.3.1 Bosque urbano

Según FAO (2017), los bosques urbanos son la espina dorsal de la infraestructura verde que conecta las áreas urbanas a las rurales y mejora la huella ambiental de las ciudades, clasificándolos en las siguientes categorías:

- **Bosques y arbolados periurbanos.** Los bosques y las masas boscosas que rodean los poblados y ciudades y que pueden suministrar bienes y servicios tales como leña, fibras, frutas, otros productos forestales no madereros (PFNM), agua limpia, recreación y turismo.
- **Parques municipales y bosques urbanos (> 0,5 ha).** Grandes parques urbanos o municipales con una variedad de cubierta terrestre y, al menos, parcialmente equipados con instalaciones para el tiempo libre y la recreación.

Así también para Ortega, (2013) y Martínez, (2008). Los bosques urbanos pueden ser:

- **Parques y jardines pequeños con árboles (<0,5 ha).** En parques y jardines, se pueden sembrar árboles de todos los tamaños debido a que estos lugares están destinados a la convivencia social, recreación y descanso. La vegetación de áreas privadas corresponde a la arborización de jardines particulares como patios, jardines de hospitales, clubes, industrias, entre otros
- **Calles y avenidas** Las especies vegetales presentes en las calles y avenidas son un componente muy importante en la arborización urbana, sin embargo, es poco reconocido desde el punto de vista técnico y administrativo, siendo uno de los factores del plan de desarrollo y expansión de las ciudades

2.2.4. Dasometría

La dasometría es la medición de forma cualitativa y cuantitativa de un árbol y de sus productos. Ocupándose en primer lugar de una manera individual de medir el árbol, pasando en una segunda estancia a las masas forestales en la medición. (Imaña-Encinas, 1998).

La dasometría estudia la forma de medir, estimar y apreciar las dimensiones de los árboles de forma individual y demás parámetros del bosque (diámetros, alturas, volumen, etc.), además, se ocupa de la determinación de incrementos, rendimientos del árbol, del bosque y de sus productos (Cancino, 2012).

2.2.4.1 Diámetro a la altura del pecho (DAP)

El diámetro a la altura del pecho DAP es la altura donde se debe tomar la medida del diámetro del tronco, dentro de la biometría forestal se ha convenido que sea a 1,30 m del suelo, debido a que esta es la altura promedio en la que se encuentra el pecho de una persona (Meza, 2018)

Es una medida que nos proporciona datos sobre el crecimiento secundario del árbol (crecimiento en grosor) que puede ser referente de un crecimiento adecuado o inadecuado relacionado con otros datos como la altura del mismo y desde luego la especie de la que se trate.

Para Santillán (1986) es una parte de dasometría que se encarga de medir y estimar el volumen, incrementos de las masas forestales.

2.2.4.2 Altura

El término altura tiene diversos usos, por un lado, es el trayecto que puede recorrerse verticalmente entre un objeto o cuerpo y el suelo o cualquier otra superficie que tome como referente, a dicha distancia se la conoce como altura. (Pérez & Merino, 2012)

En el ámbito forestal, la altura es una variable necesaria para mediar el crecimiento de los árboles, estimar la producción en volumen de madera, de las masas forestales (Ugalde, 1981).

La medición de las alturas en el área forestal se clasifica en:

- **Altura Total:** se mide desde el suelo hasta el ápice de la copa del árbol
- **Altura de fuste:** se mide desde el suelo hasta la base de la copa del árbol
- **Altura de copa:** la diferencia entre las dos alturas anteriores.
- **Altura comercial:** es la parte del fuste que se puede utilizar para comercializar. Está limitado por el diámetro superior o por los defectos. Depende de los requisitos comerciales.

2.2.5 Densidad

La densidad básica (peso seco entre volumen húmedo) siendo su formula

$$Densidad = \frac{Peso\ seco\ (gr)}{Volumen\ verde(cm^3)}$$

Es un variable intrínseca de la madera que describe la cuarta dimensión del arbolado (Návar, 2010). Esta variable se emplea para estimar la biomasa de árboles y rodales forestales por medio de ecuaciones físicas o empíricas (Mohren y Klein Goldewijkt, 1994) La densidad básica se considera una característica de importancia económica, ya que determina en gran medida la calidad del producto final que se obtenga del árbol (Zobel y Van Buijtenen, 1989). Además, la productividad total de un rodal que es una variable que se encuentra en función de la biomasa de un árbol o de un rodal puede determinarse cuando se conoce la densidad promedio de la madera (Jenkins et al, 2001)

Por otro lado, la densidad de la madera varía dentro de la planta, durante la vida de la planta y entre individuos de una misma especie, varios factores del sitio, específicamente la cantidad de humedad presente en forma de precipitación o de cantidad de agua del suelo, parecen explicar en parte la variación tan amplia que presentan los individuos de una misma especie (Silva & Návar, 2012)

2.2.6 Biomasa

Salas e Infante (2006) dice que la biomasa vegetal, es la cantidad de materia viva producida por las plantas y almacenada en sus estructuras que tiene como fuente original el sol. Suele expresarse en unidades de energía (Joule m⁻²) o de materia orgánica muerta (tn ha⁻¹).

La biomasa entonces representa la cantidad total de carbono orgánico almacenado en las porciones aéreas y subterráneas del ecosistema. La porción aérea de la biomasa arbórea según Dauber, Terán, y Guzmán, (2006) se puede dividir en:

- **Biomasa aérea total:** peso seco del material vegetal de los árboles, incluyendo fustes, corteza, ramas, hojas, semillas y flores, desde la superficie del suelo hasta la copa del árbol.
- **Biomasa fustal:** biomasa que va desde la superficie del suelo donde empieza el tronco o fuste hasta la primera ramificación del árbol donde comienza la copa.

- **Biomasa foliar:** biomasa desde el punto más alto de la copa o dosel hasta la primera ramificación, es decir, la diferencia entre biomasa aérea total y biomasa fustal.

2.2.7 Dióxido de Carbono

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas incoloro, denso y poco reactivo, forma parte de la composición de la tropósfera, las plantas que lo consumen en el proceso de fotosíntesis (Braga, 2015).

2.2.7.1 Emisión de CO₂ por fuentes móviles

La energía que se utiliza en movilidad representa más del 25% del suministro de energía del mundo, la demanda mundial de petróleo se concentra en el sector del transporte con más del 50%, y la mayor parte en el transporte por carretera (Energy, 2013). Las emisiones de un vehículo automotor son bajas, si se le compara con las emisiones de una chimenea industrial (Ravella, 2002). Sin embargo, debido a la gran cantidad de vehículos en circulación representa la fuente principal de contaminación atmosférica (Ramos, Chávez, y Juárez, 2012).

2.2.7.2 Captura de carbono

La captura de carbono se realiza en el proceso de crecimiento de los árboles, los cuales absorben dióxido de carbono (CO₂) atmosférico junto otros elementos en suelos y aire para convertirlos en celulosa. (De la Vega, 2007). Transformándolo en oxígeno mediante el proceso de fotosíntesis que realizan las hojas a través de las estomas (Molina, 2000).

La captura y almacenamiento del carbono constituye un proceso consistente en la separación del CO₂ emitido por la industria y fuentes relacionadas con la generación de energía en los procesos de combustión y su transporte a un lugar de almacenamiento geológico para aislarlo de la atmósfera a largo plazo (Arribas, 2013). De acuerdo a estimaciones del Gobierno del Distrito Federal, una hectárea con árboles sanos y vigorosos produce suficiente oxígeno para 40 habitantes de la ciudad, y un bosque de una hectárea consume en un año todo el CO₂ que genera la carburación de un coche en ese mismo período (Molina, 2000).

La medición de la captura de carbono por las plantas en la mayoría de los trabajos reportados en marco teórico se estima en forma indirecta teniendo en cuenta el diámetro y

fuste de las plantas, esta estimación se expresa almacenamiento del carbono en Toneladas por hectárea año como puede referir por metro cuadrado (Chávez, 2018).

Los árboles urbanos también pueden reducir el CO₂ atmosférico almacenando directamente carbono en su biomasa, en tanto el árbol crece. Los árboles sanos continúan fijando carbón adicional cada año; los árboles grandes y vigorosos fijan cerca de 90 veces más carbono anualmente que los árboles pequeños (93 kg/año vs. 1 kg/año) (Alanís, 2000).

2.2.8 Beneficios ambientales del arbolado urbano

Según Canales (2002), El árbol urbano aporta beneficios que aparte de los estéticos están siendo estudiados como una nueva manera de aumentar la calidad de vida. Por otro lado, los árboles de las ciudades son excelentes filtros para los contaminantes urbanos y las pequeñas partículas; también proporcionan hábitat, alimento, protección a plantas y animales, reducen la necesidad de aire acondicionado cuando los árboles son colocados junto a edificios de manera adecuada. (FAO, 2016)

2.2.8.1 Reducción de la temperatura y efectos micro climáticos.

Olmos (1991), afirma que la vegetación influye directamente sobre la temperatura de la ciudad, amortiguando los rigores estivales y disminuyendo la intensidad de las islas de calor; mientras, Ortega, (2013) dice, que los árboles generan sombra, ya que sus copas están diseñadas para captar la luz solar, y al extenderse sombream el suelo, protegiendo la fauna, la flora inferior y al ser humano, del efecto dañino del impacto directo de los rayos solares; de modo que, protege a los elementos del espacio construido de los rayos ultravioleta, su principal agente destructor (Acuña, 1996).

2.2.8.2 Mejora en la calidad del aire

Los árboles reducen los contaminantes gaseosos del aire por medio de la captación de estos por los estomas de las hojas (Smith, 1990).

Las áreas verdes urbanas pueden reducir en cierta medida algunos contaminantes de aire. La contaminación se reduce cuando las partículas de polvo y humo quedan atrapadas en la vegetación. Las plantas absorben gases tóxicos como los que son generados por los tubos de escape de los vehículos y que constituyen una gran parte del smoke urbano (Nowak y Crane, 2002).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del sitio

3.1.1 Política

El estudio se realizó en la provincia de Imbabura, cantón Ibarra, en ocho avenidas de tránsito vehicular, de ingreso y salida de la ciudad: Av. El Retorno, Av. Atahualpa, Av. Teodoro Gómez de la Torre, Av. Alfredo Pérez Guerrero, Av. 17 de Julio Av. Fray Vacas Galindo, Av. Mariano Acosta y Av. Cristóbal de Troya.

3.1.2 Geográfica

El casco urbano de Ibarra que fue el área de estudio se encuentra, entre las coordenadas que se visualiza en la tabla 1. Ubicada a 2 228 m.s.n.m. (PDOT-IBARRA., 2015). (*Ver anexo I*)

Tabla 1.

Coordenadas área de estudio

Latitud	Longitud
0°21'30.86"N	78° 7'41.01"O
0°21'42.75"N	78° 6'33.05"O
0°19'33.92"N	78° 7'11.68"O
0°20'11.02"N	78° 9'10.37"O

3.1.3 Límites

Los límites del casco urbano de la ciudad de Ibarra comprenden al norte con la Parroquia Imbaya, al este con la Parroquia de San Antonio, al sur Parroquia La Esperanza, al oeste con los barrios Yuracucito chico y Mirador alto.

3.2 Datos climáticos

El cantón Ibarra presenta una temperatura promedio de 17,70 °C, humedad promedio del 78,31%. Se registra una precipitación anual de 598,57mm (INAMHI, 2018)

3.3 Materiales, equipos y software

Los materiales y equipos que se utilizaron para el desarrollo de la presente la investigación se detallan en la tabla 2.

Tabla 2.
Componentes utilizados en la investigación

Materiales	Equipos	Software e insumos
Cinta métrica	Computador	Microsoft Word
Libreta de campo	Navegador GPS	Microsoft Excel
Etiquetas	Clinómetro	Microsoft Power Point
Fundas plásticas	Barreno de Pressler	ArcGIS 10.3
Útiles de escritorio	Calibrador Pie de Rey Balanza digital	

3.4 Metodología

3.4.1 Censo forestal

Para determinar el estado actual del arbolado urbano existente en las ocho avenidas, se registraron todos los árboles con un diámetro a la altura del pecho (DAP) ≥ 10 cm. La localización geográfica de los árboles se realizó con un navegador GPS.

Los puntos de inicio y llegada para el censo en cada avenida se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.
Zonas de inicio y final del censo por avenida

Avenida	Punto de inicio	Punto final
Av. El Retorno	Intersección calle Nazacota Puento	Intersección Av. Teodoro Gómez de la Torre
Av. Atahualpa	Parque de Caranqui	Intersección con la Av. Teodoro Gómez de la Torre
Av. Teodoro Gómez de la Torre	Intersección Av. Eleodoro Ayala	Intersección Av. El Retorno

Avenida	Punto de inicio	Punto final
Av. Pérez Guerrero	Iglesia La basílica de la dolorosa	Intersección con la Av. Mariano Acosta
Av. Jaime Roldós	Intersección con la Av. Mariano Acosta	Intersección con la Av. Cristóbal de Troya
Av. Cristóbal de Troya	Puente Río Tahuando	Redondel de la madre
Av. 17 de Julio	Colegio San Francisco	Intersección con la panamericana E35
Av. Mariano Acosta	Obelisco de Ibarra	Entrada a la ciudad de Ibarra sector la Florida

3.4.1.1 Identificación botánica

Se recolectó muestras botánicas fértiles de los árboles cuya especie no se logró identificar en campo, para su posterior identificación en el herbario de la Universidad Técnica del Norte.

3.4.1.2 Características dasométricas

Se evaluó las características cuantitativas: Diámetro a la altura del pecho, altura total.

a) Diámetro a la altura del pecho (DAP)

Se utilizó una cinta métrica para medir los árboles a una altura de 1,30 m del nivel del suelo; determinando la circunferencia a la altura del pecho (CAP); para obtener el DAP se aplicó la siguiente ecuación.

$$DAP = \frac{CAP}{\pi} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

DAP = Diámetro altura de pecho

CAP = Circunferencia altura de pecho

π = 3,1416

b) Altura total

Se midió la altura total del árbol con la ayuda de un clinómetro Suunto, se aplicó porcentaje mayor en el ápice y porcentaje menor al nivel del suelo, se determinó la altura con la siguiente ecuación.

$$h = \frac{(\% \text{mayor} + \% \text{menor}) \times 20 \text{ m}}{100} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

h = Altura

20 m = Distancia horizontal del árbol al observador

c) Abundancia relativa

Determina la especie con mayor presencia dentro de la zona urbana (avenidas). La abundancia relativa se obtuvo mediante la ecuación 3.

$$Ai = \frac{n}{N} \times 100 \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

Ai = abundancia relativa

n = número de individuos de la especie

N = número total de individuos

3.4.2 Determinación de la densidad básica de las especies identificadas en el arbolado urbano.

Se utilizó el método no destructivo, empleando el barreno de Pressler, con el cual se obtuvo las diferentes muestras de madera de las especies identificadas en las avenidas.

Las muestras se tomaron del fuste de árboles de cada especie seleccionados al azar, a una altura de 1,3 m del nivel del suelo (Genes y Lopez, 2010). Cada muestra fue medida en verde

al momento de la extracción, utilizando un calibrador pie de rey, para luego ser empaquetada y etiquetada para su posterior pesaje.

3.4.2.1 Cálculo de las densidades

Se midió la longitud (cm) de la muestra en verde, al momento de ser extraída con el barreno. Las muestras fueron secadas en horno a una temperatura de 105 °C, durante dos horas. Posteriormente fueron pesadas (gr) en una balanza digital.

Para determinar el volumen en verde (cm³), de las muestras obtenidas con el barreno de Pressler se aplicó la siguiente ecuación.

$$\text{Volumen verde} = \frac{\pi}{4} \times (\text{diámetro de la muestra})^2 \times \text{longitud de la muestra} \quad \text{Ec. (4)}$$

Fuente: ICRAF, 2009

Con los valores obtenidos de volumen verde y peso seco, se aplicó la ecuación siguiente:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso seco (gr)}}{\text{Volumen verde (cm}^3\text{)}} \quad \text{Ec. (5)}$$

Fuente: ICRAF, 2009

Obteniendo la densidad en (g/cm³), para posterior convertir las unidades en (tn/m³).

3.4.3 Biomasa

Para la estimación de la biomasa se aplicó el proceso descrito por Rodríguez, Ajete, Orta, Rondón y Rivera (2018). Se determinó la cantidad de biomasa expresada en toneladas (tn), en todos los árboles, con los datos registrados en el censo, se calculó el área basal y volumen, la biomasa del fuste, biomasa aérea y biomasa de raíces.

a) Área basal

Se determinó el área basal con la siguiente ecuación.

$$AB = \frac{\pi}{4} \times D^2 \quad \text{Ec. (6)}$$

Dónde:

$$\begin{aligned} AB &= \text{área basal (m}^2\text{)} \\ D &= \text{diámetro del árbol (m)} \\ \pi &= 3,1416 \end{aligned}$$

b) Volumen

Se calculó el volumen de los árboles aplicando la siguiente ecuación.

$$V = AB \times h \times f.f. \quad \text{Ec. (7)}$$

Dónde:

$$\begin{aligned} V &= \text{Volumen (m}^3\text{)} \\ AB &= \text{Área basal (m}^2\text{)} \\ h &= \text{Altura (m)} \\ f.f. &= \text{Factor de forma (0,7)} \end{aligned}$$

c) Cálculo de la biomasa del fuste

La biomasa del fuste se obtuvo aplicando la siguiente ecuación

$$B_f = V \times Db \quad \text{Ec. (8)}$$

Dónde:

$$\begin{aligned} B_f &= \text{Biomasa del fuste} \\ V &= \text{Volumen (m}^3\text{)} \\ Db &= \text{Densidad de la madera (tn/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

d) Cálculo de la biomasa aérea

Corresponde a la biomasa de ramas y follaje, se calculó aplicando el factor de expansión de biomasa, con el valor mínimo de 1,74 y máximo 3,00; aplicó la siguiente ecuación

$$B_a = B_f \times FEB \quad (FEB = e (3,213 - 0,506 \ln (B_f))) \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde:

B_a	=	Biomasa aérea
B_f	=	Biomasa del fuste (m^3)
FEB	=	Factor de expansión
e	=	Número de Euler (2,7182818)
\ln	=	Logaritmo natural

Factores de expansión de biomasa (FEB)

El FEB es un coeficiente que permite agregar a la biomasa del fuste, obtenido a partir del volumen registrado en el censo forestal, la biomasa que corresponde a las ramas, hojas y raíces.

El valor del FEB varía mucho entre especies y también en las condiciones de los sistemas forestales; Para este estudio se aplicó el FEBa que utilizó en su investigación Rodríguez (2018).

e) Cálculo de la biomasa de raíces.

$$B_r = B_a \times 0.3 \quad \text{Ec. (10)}$$

Dónde:

B_r	=	Biomasa raíces
B_a	=	Biomasa aérea (tn)

Se aplicó el valor por defecto de 0,3 para determinar la biomasa de raíces, utilizado por Rodríguez (2018).

f) Cálculo de la biomasa total

La biomasa total fue calculada como la suma de los siguientes componentes:

$$B_T = B_a + B_r \quad \text{Ec. (11)}$$

Dónde:

B_T	=	Biomasa total
B_a	=	Biomasa aérea (tn)
B_r	=	Biomasa de raíces (tn)

3.4.3.2 Captura de carbono de la biomasa

Para el cálculo de carbono almacenado en la biomasa se utilizó la fracción de carbono de 0,5. Valor que indica el porcentaje de carbono que se encuentra en la biomasa de cada árbol; refiriéndose a que el 50% de la biomasa del árbol es carbono (Yepes *et al*, 2011).

Se aplicó la ecuación número 9 para la obtención del carbono almacenado

$$CA = B_T \times F_c \quad \text{Ec. (12)}$$

Fuente: Arévalo, 2015

Donde:

CA	=	Carbono Almacenado (tn)
B_T	=	Biomasa (tn)
F_c	=	Fracción de carbono (0,5)

3.4.3.3 Cálculo del CO_2 equivalente almacenado

El dióxido de carbono equivalente (CO_2e) corresponde a la medida métrica utilizada para comparar las emisiones de varios gases de efecto invernadero (GEI). Para convertir la cantidad de carbono (almacenada o emitida) por los ecosistemas forestales, el IPCC recomienda utilizar el factor de $44/12 = 3,67$. Factor que resulta de dividir el peso atómico de una molécula de dióxido de carbono, por el peso específico del carbono (Yepes *et al.*, 2011).

Una tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO_2 atmosférico. Se aplicó la siguiente ecuación.

$$CO_2 = CA \times 3,67 \quad \text{Ec. (13)}$$

Fuente: S.E.C.F (2009)

Donde:

CO ₂	=	Carbono en stock (tn)
CA	=	Carbono almacenado (tn)
3,67	=	Relación peso molecular

3.4.4 Estimación de emisión de Dióxido de Carbono CO₂

Se aplicó la metodología propuesta por el IPCC (2006), la cual se estima la cantidad de emisión generada por el parque automotor en base al consumo de combustible (gasolina y diésel). Para la aplicación de esta metodología es necesario conocer los factores de emisión (FE) de cada tipo de combustible, por desconocimiento del FE para Ecuador, se consideró la aplicación del FE de CO₂ propuesto por la Energy Information Administration (EIA, 2016). Los cuales son 0,11 y 0,09 kg CO₂/galón para gasolina y diésel respectivamente.

Para la estimación de la emisión de CO₂ de fuentes móviles se aplicó la metodología del IPCC, la cual propone la siguiente ecuación

$$Emisión\ CO_2 = \sum (Combustible_j \times FE_j) \quad Ec. (14)$$

Donde:

j	=	Corresponde al tipo de combustible
<i>Combustible_j</i>	=	Consumo de combustible (galón)
<i>FE_j</i>	=	Factor de emisión (kg CO ₂ /galón)

3.4.5 Relación existente entre la emisión y captura de CO₂

La relación que se estableció es la diferencia entre el total del de emisiones generadas por el parque automotor para el año 2017, frente al carbono almacenado por el arbolado urbano presente en las avenidas.

El CO₂ capturado es la compensación de carbono que se define como la reducción de una tonelada métrica de emisiones de carbono derivadas del uso de energía industrial por parte de los bosques urbanos (Zhao, Kong, Escobedo, y Gao, 2010)

Para determinar la diferencia se procedió a utilizar una relación en forma de razón. Es importante saber que esos valores precisan estar en la misma unidad de medida, para lo cual se utilizó la unidad de medida en toneladas de CO₂

La razón es la comparación de dos cantidades y se mide a partir de la división dos valores, entonces:

$$\text{Compensación} = \frac{\text{Emisión CO}_2}{\text{Captura de CO}_2}$$

Donde:

Emisión de CO₂ = Número de vehículos

Captura de CO₂ = Número de árboles registrados

Se obtuvo el promedio de emisión de CO₂ por vehículo dividiendo el total de emisiones por el número de vehículos matriculado en la ciudad de Ibarra, datos obtenidos de Movildelnor EP. Así también se obtuvo el promedio de captura de CO₂ capturado por árbol dividiendo el número total de árboles muestreados por el total de CO₂ capturado.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Medición de las especies forestales de las avenidas del casco urbano de la ciudad de Ibarra

Se registró ocho avenidas del casco urbano de la ciudad de Ibarra, las cuales poseen un gran afluente de tránsito vehicular, donde existe la mayor cantidad de cobertura de especies forestales y arbustivas (*Ver figura 1*). Con un total de 1 002 árboles censados en una superficie de 20,38 hectáreas, misma que fue determinada en base al promedio de diámetro de copa de 6 m; se realizó un buffer en el programa ArcGis con esta medida para todas las avenidas obteniendo así el total de la superficie.

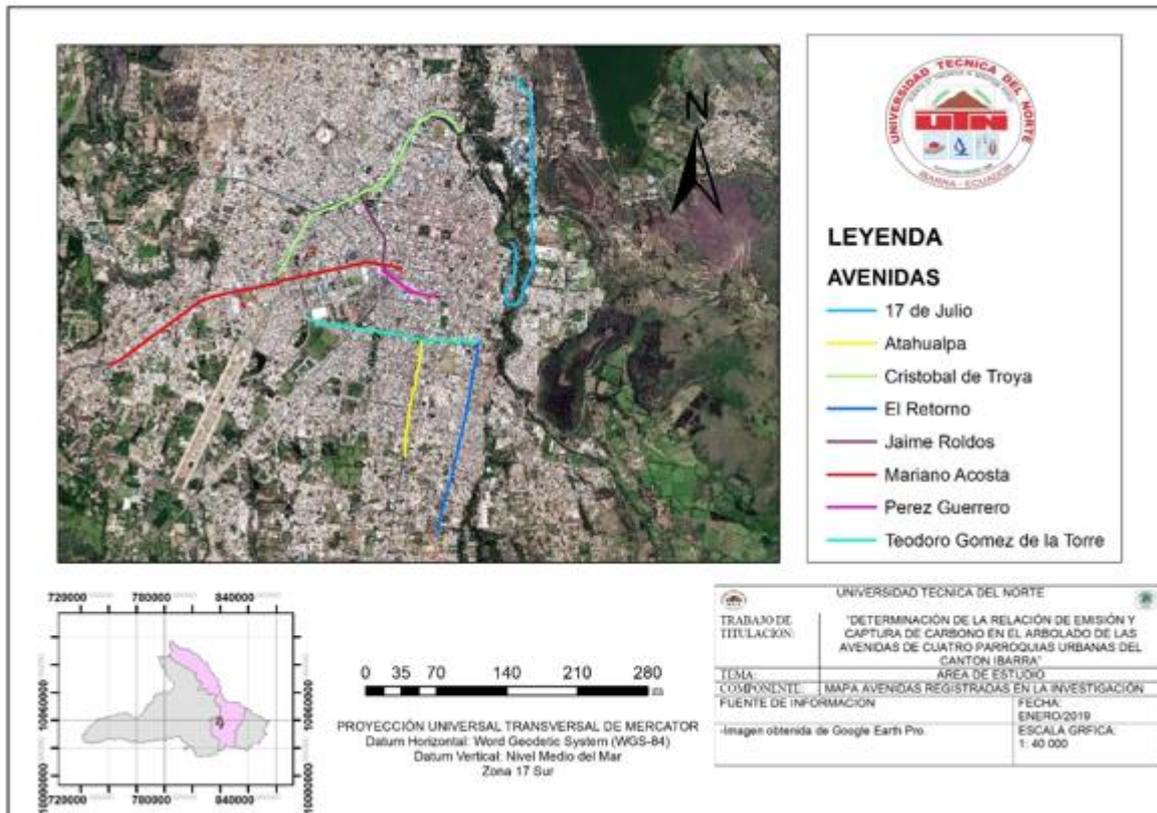


Figura 1. Mapa de ubicación de Avenidas

4.1.1 Identificación botánica

Se identificó 17 familias botánicas, 26 géneros y 28 especies, de las cuales, 18 corresponden a exóticas y 10 a especies nativas (*Anexo 2. Tabla 6*). Las familias con mayor número de especies son: Fabaceae, Bignoniaceae, Myrtaceae, Malvaceae y Oleaceae (*Ver figura 2*).

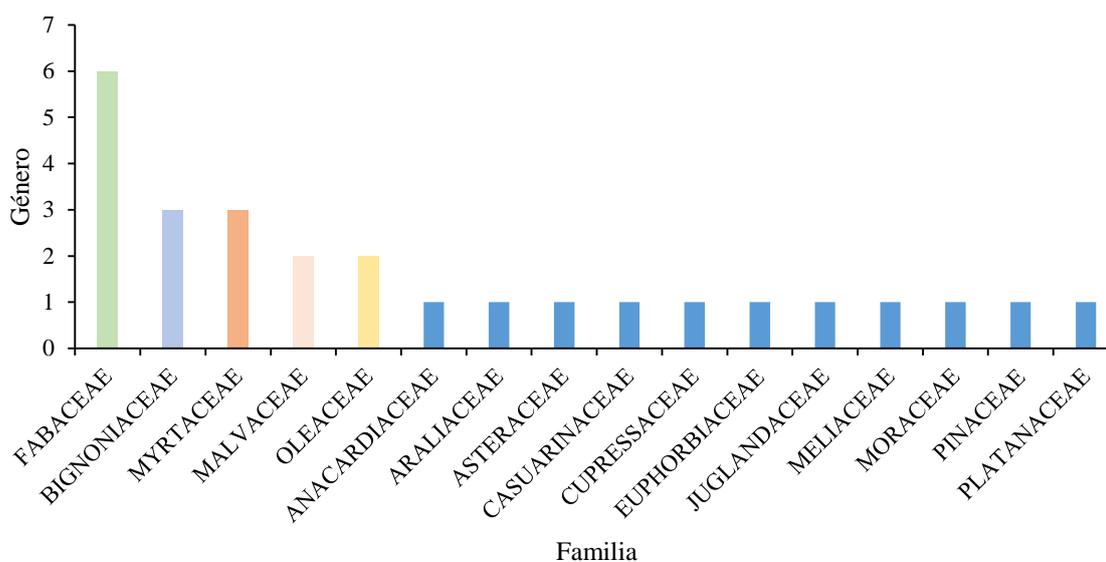


Figura 2. Familias y géneros

Tito (2019) en el cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura, en el arbolado urbano registro 19 familias y 32 especies con 671 individuos, de las que 23 especies corresponden a exóticas y nueve nativas. Las familias más frecuentes Myrtaceae, Bignoniaceae, Arecaceae, Fabaceae, Salicaceae, Moraceae y Oleaceae.

En el estudio realizado por Borgiani y Arruda (2008) al arbolado urbano de la ciudad de Jardim, Brasil, determinan 24 familias, 44 especies de 510 individuos; registrando 18 y 26 especies nativas y exóticas respectivamente. Las familias más frecuentes Bignoniaceae, Fabaceae, Myrtaceae y Moraceae.

Por otra parte, Hernández (2018) registra 125 especies utilizadas en el arbolado urbano del Municipio de Galeras, Colombia, de las cuales 67 especies son de origen nativo y 51 de origen exótico, siete especies no identifica su origen.

Así también, Alanís, Jiménez, Mora-Olivo, Canizales, y Rocha (2014) registraron 39 especies de árboles y arbustos presentes dentro del área urbana de la Facultad de Ciencias

Forestales, México, de las cuales 12 son exóticas y 27 son nativas. La familia Fabaceae fue la más representada con diez especies (nueve especies nativas), seguida de Fagaceae (tres especies nativas) y Oleaceae (tres especies introducidas),

Rodrigues De Oliveira y Carvalho (2010) en su estudio realizado en la ciudad de Ponta Grossa, Brasil, reporta 479 individuos identificados, 129 corresponden a especies nativas y 350 a exóticas.

Tanto en este trabajo como en las investigaciones citadas de Tito, Borgiani y Alanís coinciden que, las familias Fabaceae, Bignoniaceae, Myrtaceae y Oleaceae, son las más frecuentes utilizadas en la arborización urbana. Además Rodrigues De Oliveira, Borgiani y Tito, registran más del 60% en especies exóticas utilizadas en la flora urbana, lo que concuerda con la investigación realizada, ya que se registró un 64,29% especies exóticas. Por otro lado, Hernández, y Alanís, discrepan en este sentido, debido a que en sus investigaciones presentan una cantidad mayor al 55% de especies nativas utilizadas en el arbolado urbano.

Así también, se determinó la presencia de diez especies nativas utilizadas en el arbolado urbano de las ocho avenidas inventariadas en la ciudad de Ibarra, correspondiendo un similar número (nueve), de especies nativas registradas por Tito (2019), en vista de la cercanía y similitud de condiciones de los dos cantones donde se realizaron las investigaciones, siendo las especies nativas más representativas *Schinus molle* L., *Chionanthus pubescens* Kunht, *Tecoma stans* (L.) Kunht y *Juglans neotropica* Diels.

4.1.2 Abundancia relativa

Se determinó la abundancia relativa, donde se obtuvo que el 64,29% del total de la población muestreada corresponde a especies exóticas y el 35,71% restante a especies nativas (Ver figura 3). Donde cinco especies muestran una abundancia superior al 10% de la población identificada. (Ver figura 4).

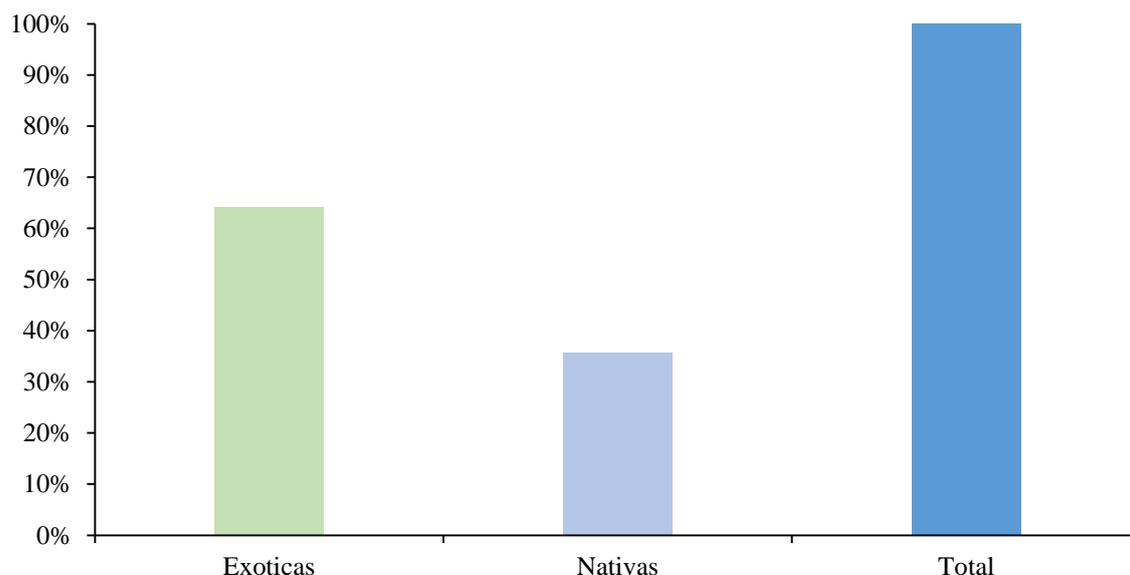


Figura 3. Porcentaje de especies exóticas y nativas

Schinus molle L. representa el 20,96% de la población muestreada, *Fraxinus excelsior* L. 17,66%, *Spathodea campanulata* P.Beauv 16,37%, *Callistemon citrinus* (Curtis) Skeels y *Jacaranda mimosifolia* D.Don el 12,38% y 10,58% respectivamente. Estas cinco especies representan el 77,94%, las 23 especies restantes tan solo representan el 22,06% de toda la población muestreada en la presente investigación (Ver figura 4).

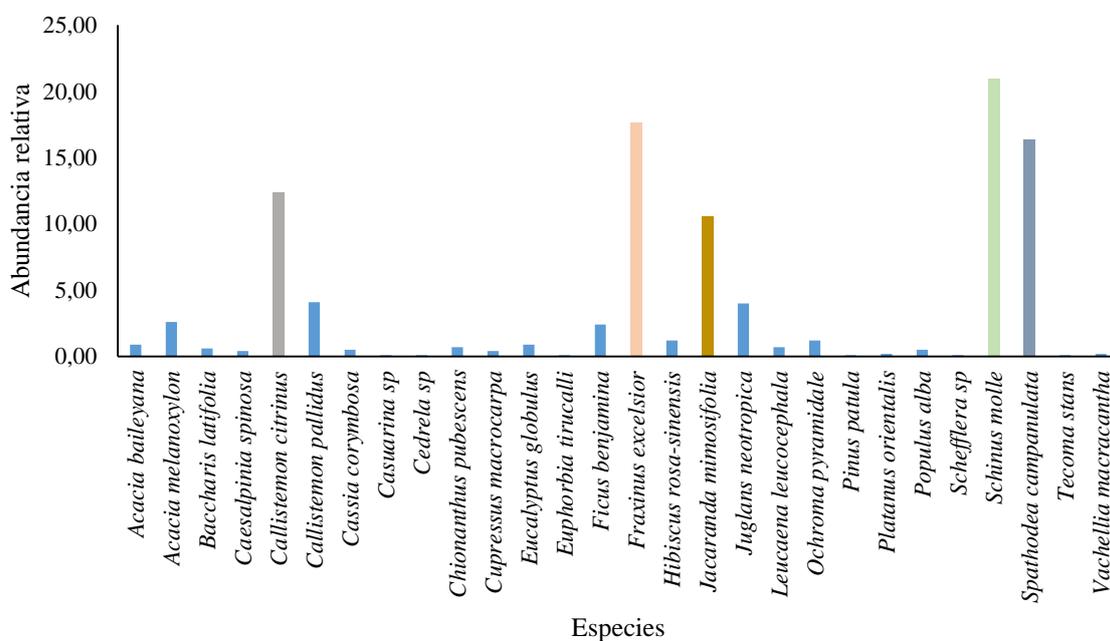


Figura 4. Abundancia relativa

En el estudio realizado por Tito (2019), *Schinus molle* L. es la tercera especie con mayor número de individuos con el 8,94%, superado por *Phoenix canariensis* H.Wildpret y *Fraxinus excelsior* L. con el 11,18% y 10,58% respectivamente

Mientras, Leal *et al.* (2018), obtuvo una abundancia relativa mayor para *Fraxinus americana* L. con el 34,03%, así también, se puede mencionar a las especies *Pinus pseudostrobus* Lindl con 1,06%, *Jacaranda mimosifolia* D.Don con 0,58%; *Ficus benjamina* L. y *Schinus molle* L. con el 0,39%, por último, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit con 0,24% y *Eucalyptus globulus* Labill con 0,05%.

A su vez Gallo (2017) en su investigación en el departamento de Sucre, presenta una abundancia relativa para *Ficus benjamina* L. del 3% y *Tecoma stans* (L.) Kunth del 2%.

Así mismo Chávez (2018), en su investigación realizada en Lima, muestra que las especies con mayor abundancia, son *Ficus benjamina* L., seguido de *Schinus molle* L. y *Eucalyptus globulus* Labill.

Correa-Galleguillos y De la Barrera (2017) en su estudio registra 129 especies de árboles de las cuales las dos especies más abundantes son *Platanus orientalis* L., con un 14,0% de abundancia relativa; por otro lado, Alanís (2014) identifica que *Fraxinus americana* L., es la especie que presenta mayor abundancia, con el 15% y *Platanus rzedowskii* Nixon & J.M.Poole con el 3,61%.

En las investigaciones de Tito, Leal, y Alanís, como en esta investigación, las especies del género *Fraxinus*, muestran una abundancia mayor al 10%; por otro lado, Gallo y Chávez presentan una mayor abundancia para el género *Ficus*; mientras que Correa-Galleguillos muestra al género *Platanus*. Todos estos géneros hacen referencia a especies exóticas que abundan en la arborización de las zonas urbanas. Por el contrario *Schinus molle* L. es la especie nativa que registra mayor presencia en las investigaciones mencionadas.

La utilización de especies, para el arbolado urbano en la región es amplia, esto puede variar acorde a los objetivos que se plantee en cada ciudad, aunque en la mayoría de casos, las especies exóticas son principalmente utilizadas, esto debido a sus características estéticas, que al momento de implementarlas en las zonas urbanas precisan una mayor belleza paisajística.

4.2 Estimación de biomasa de las especies presentes en las ocho avenidas del casco urbano de la ciudad de Ibarra.

En las ocho avenidas muestreadas se calculó, un total de 1 438,31 tn de biomasa; de las cuales las especies nativas tienen una mayor productividad de biomasa 51,57%, a diferencia de las exóticas con el 48,43%. (Ver anexo 2. Tabla 8). La biomasa del fuste representa el 57,69% del total de la biomasa aérea y las ramas y follaje el 42,31%. Datos similares a los obtenidos por Soriano, Ángeles, Martínez, Plascencia y Razo (2015) donde mencionan que, las especies latifoliadas concentran en mayor cantidad la biomasa en el fuste con el 49,1% mientras que las ramas y follaje representan el 42% de la biomasa aérea.

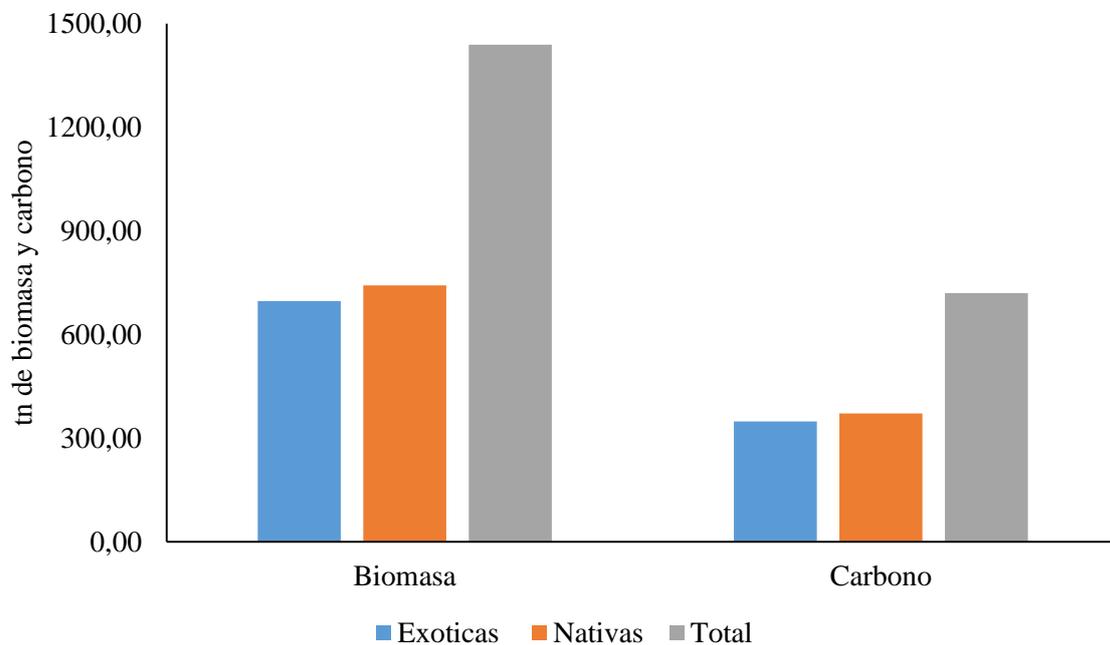


Figura 5. Estimación de biomasa y carbono

4.2.2 Carbono almacenado

En ocho avenidas de la ciudad de Ibarra se registró 1 002 árboles, mismos que almacenan 719,41 tn de carbono, a razón de 0,72 tn por individuo. De las 28 especies inventariadas, cinco especies registran la mayor cantidad de carbono capturado; *Schinus molle* L., *Fraxinus excelsior* L., *Spathodea campanulata* P.Beauv, *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam.) Urb., *Jacaranda mimosifolia* D.Don, con 175,87; 124,49; 92,57; 79,82 y 67,35 tn respectivamente. Así mismo, estas especies representan el 75,07% del total de carbono almacenado y las especies restantes el 24,93%. (Ver figura 6).

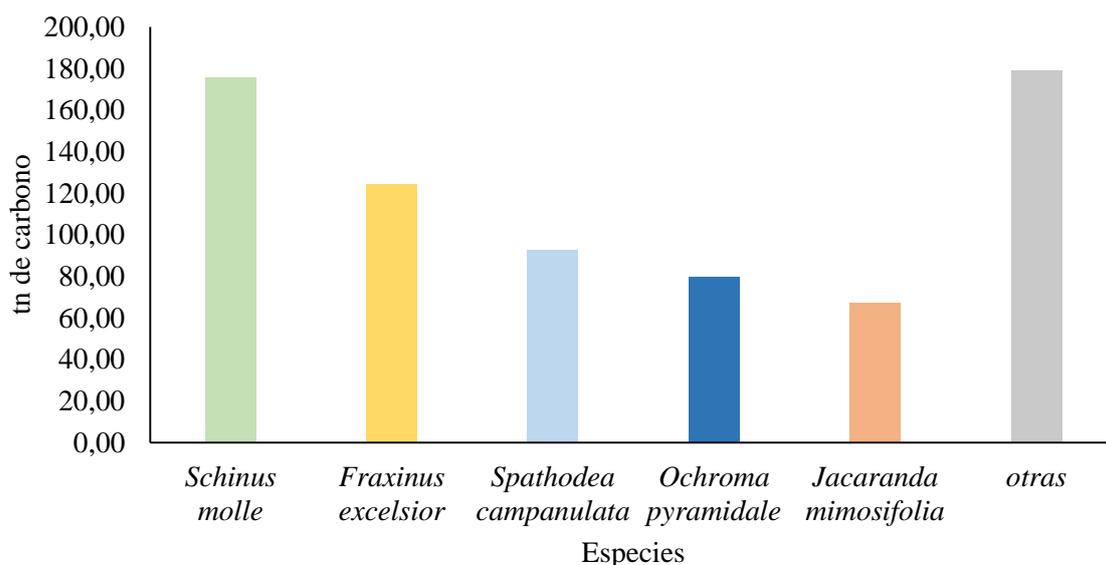


Figura 6. Carbono almacenado

En el estudio realizado por Farinango, (2020) en la ciudad de Otavalo, menciona que 1 222 árboles tienen una capacidad de capturar 159,97 tn de carbono, resaltando a las especies *Cupressus macrocarpa* Hartw. Ex Gordon, *Acacia melanoxylon* R.Br., *Schinus molle* L., *Grevillea* sp y *Fraxinus excelsior* L., con un estimado de 36,55; 23,17; 23,86; 15,23 y 11,33 tn respectivamente.

Así también, Hernández (2014) menciona que 2 204 árboles, situados en la Unidad Deportiva Sierra Hermosa en Chapingo, México, capturaron 260,82 tn de carbono, donde se destaca *Schinus molle* L. que registra 120,40 tn de carbono almacenado, esta especie representa el 46,16% del total de carbono capturado, también, se muestra a *Ligustrum lucidum* W.T.Aiton y *Cupressus lusitánica* Mill. con 37,56 y 34,68 tn de carbono almacenado respectivamente.

Chamorro y Falconi (2019) indican en su estudio realizado en la ciudad de Huancayo, Perú que el arbolado urbano, capturo 125,84 tn de carbono, con 2 371 árboles; donde, *Fraxinus americana* L. reporta 25,11 tn de carbono almacenado, seguido de *Pinus radiata* D.Don con 21,18 tn.

El trabajo realizado en esta investigación, determina una capacidad de capturar carbono por individuo de 0,72 tn, superior a los resultados obtenidos por Farinango (2020) y Hernández (2014) que registran 0,13 y 0,12 tn de carbono almacenado por árbol respectivamente; mientras que, Chamorro y Falconi (2019) obtienen que cada árbol captura

0,05 tn de carbono; pese a que registra un número mayor de árboles inventariados, muestra una menor capacidad de capturar carbono con respecto a los datos expuestos en las tres investigaciones anteriores. Por otra parte, *Schinus molle* L. se muestra como una especie con gran potencial de capturar carbono, esto por los datos reflejados en esta investigación, así como, en los estudios realizados por Hernández (2014) y Farinango (2020).

4.2.3 Estimación de CO₂ capturado por el arbolado urbano

Se estimó que los 1 002 árboles muestreados en este estudio, generan una captura de CO₂ de 2 640,22 tn (Ver Anexo 2. Tabla 8). De las 28 especies registradas, cinco son las que mayor dióxido de carbono capturan; *Schinus molle* L., *Fraxinus excelsior* L., *Spathodea campanulata* P.Beauv, *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam.) Urb. y *Jacaranda mimosifolia* D.Don con 645,43; 456,86; 339,74; 292,94 y 247,16 tn de CO₂ respectivamente (Ver figura 7).

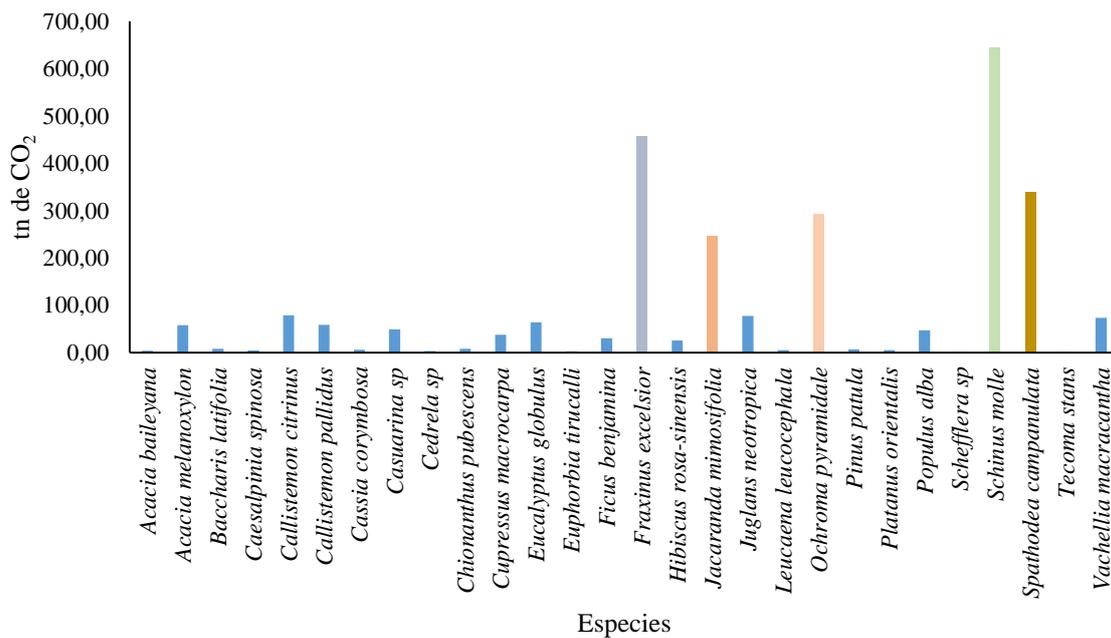


Figura 7. Estimación de CO₂ capturado

Hernández (2014) en su investigación en Chapingo, México, estima una capacidad de capturar 957,20 tn de CO₂, por 2 204 árboles censados; *Schinus molle* L. es la especie que más CO₂ captura, con 441,86 tn; especie que coincide con el actual trabajo, donde registra 645,43 tn de CO₂.

Hernández (2018) registra que la flora urbana del Municipio de Galeras, Colombia, captura 345,57 tn de CO₂, con 1 190 árboles muestreados; pese a que registra un 18,76% más de árboles, la cantidad de CO₂ capturado es menor en un 86,91%, en comparación a la estimada en este trabajo.

A su vez, Amaya, Hernández, Jones, Quintero, y Lesmes, (2018) estiman que, 691 árboles capturaron 140,46 tn de CO₂, en la ciudad de Bucaramanga, Colombia; esto es 94,67% menos captura de CO₂, con un 31,04% menos de árboles, que los registrados en la ciudad de Ibarra.

En la investigación de Hernández (2018) el 48% de los árboles se encuentra en un rango diamétrica de 0,1 y 0,2 m, así mismo, Alanís *et al* registran el 57% del inventario en dicho rango; esto hace referencia a que la mayor parte de los árboles son relativamente jóvenes. En la presente investigación el 32,24% está en el rango diamétrica mencionado. Por lo tanto, entre mayor sea el número de individuos en la clase diamétrica de 0,1 - 0,2 m menor será la capacidad de captura de CO₂.

La diversidad de especies utilizadas en la cobertura vegetal de las ciudades, influye en la capacidad de capturar mayor o menor cantidad de dióxido de carbono; así también, el diámetro a la altura del pecho y altura total son variables importantes ya que a mayor DAP y altura, mejor será la capacidad de capturar CO₂. Por el contrario, las especies que tiene un crecimiento lento no son grandes almacenadoras de carbono (García y Cantillo, 2015). Un bosque urbano puede almacenar hasta 3,2 toneladas de carbono por año por hectárea (Acosta, 2010).

4.3 Estimación de emisión de dióxido de carbono (CO₂) producido por el parque automotor en la ciudad de Ibarra

Se estimó la producción de CO₂ en los últimos tres años para cada tipo de combustible (gasolina y diésel) utilizando los datos obtenidos por la ARCH, en consumo de los dos tipos de combustibles y aplicando la ecuación de nivel uno propuesta por el IPCC en base al consumo de combustible la cual se expresa en toneladas de CO₂/año.

El 2015 fue el año con más consumo de combustible, esto debido a que en dicho año se vendió un 3,80% más de diésel en comparación al año 2017; lo que generó en una mayor cantidad de emisiones de CO₂, siendo 2 141,67 y 2 035,17 tn de CO₂ para la gasolina y diésel respectivamente. (Ver Figura 8).

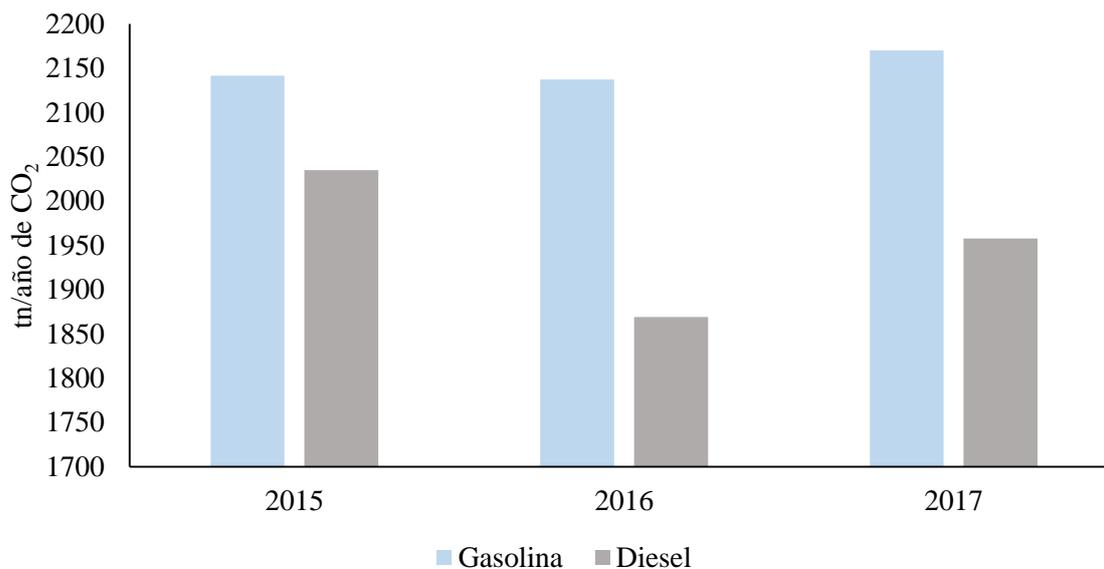


Figura 8. Estimación de las emisiones de CO₂ por tipo de combustible

En el año 2016 se estimó un total de 4 006,5 tn de CO₂ emitido por el parque automotor, producto del consumo de combustibles (Ver Figura 9). Para el año 2017 las emisiones de CO₂ aumentaron a 4 127,8 tn, lo que hace referencia a un incremento del 3%, a comparación del año 2016.

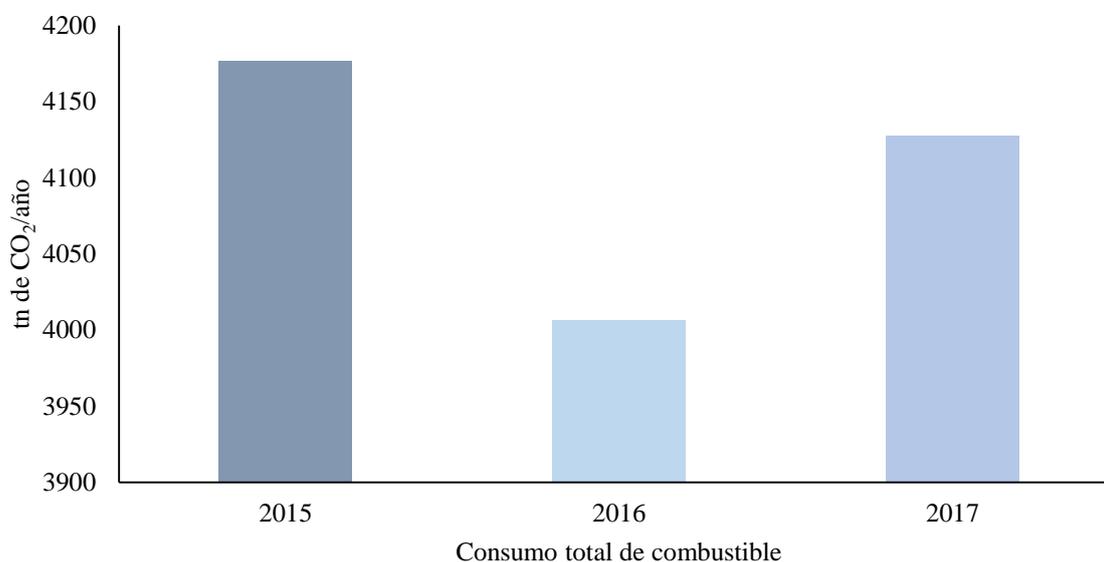


Figura 9. Estimación de las emisiones de CO₂ en Ibarra

En el estudio realizado por García (2017) en el cantón Sevilla de Oro, de la provincia de Azuay, determinó la cantidad de contaminantes producidos por las fuentes móviles, obteniendo que se genera 4 530,67 tn/año de CO₂.

Cáceres y Cáceres (2011) en el inventario de emisiones para el Distrito Metropolitano de Quito, mencionan que en el año 2007 el sector transporte emitió 2'088 292 tn de CO₂

A comparación de la ciudad de Ibarra, el cantón Sevilla de Oro emitió 8,89% más de CO₂ producido por el parque automotor. Esto a pesar que las dos ciudades tienen una gran diferencia en el número de habitantes según datos del INEC (2010) Ibarra cuenta con 181 175 habitantes y Sevilla de Oro con tan solo 5 889. Sin embargo dicho cantón emite mayor cantidad de dióxido de carbono. Así también Ibarra, genera tan solo el 0,19% de emisiones en comparación a registradas por la ciudad de Quito en el año 2007.

4.4 Relación entre emisión y captura de dióxido de carbono CO₂

En la ciudad de Ibarra según estadísticas de la Empresa Pública de Movilidad del Norte, existe un parque automotor de 43 941 autos para el año 2017, en relación al volumen de combustible vendido en la ciudad, se calculó que cada auto emite 0,09 tn de CO₂. Así mismo, se registró 1 002 árboles presentes en las ocho avenidas muestreadas, mismos que capturan 2 640,22 tn, por tanto, se estimó que cada árbol captura 2,63 tn de CO₂. Actualmente en la ciudad de Ibarra la cobertura arbórea de las ocho avenidas capturan el 63,96% del CO₂ emitido por el parque automotor, siendo insuficiente el número de árboles para neutralizar el 100% de emisiones de CO₂

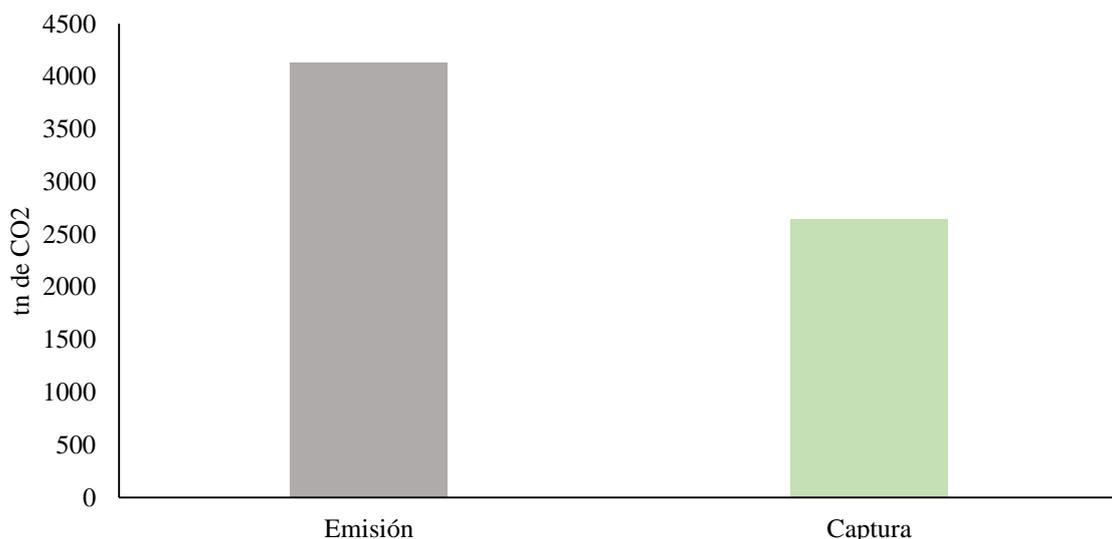


Figura 10. Relación de emisión y captura de CO₂

Domínguez (2016) en su estudio, estimaciones de captura de los parques y emisiones de CO₂ vehicular en Tijuana. Establece que el arbolado de los parques contribuye a capturar 3,6

Kg de CO₂/m² y cada vehículo emitió en promedio 4 946 Kg de CO₂. Generando únicamente la captura del 0,08% de las emisiones producidas por el parque vehicular.

De igual forma Quiceno (2015), determina que el parque automotor de la zona centro de la ciudad La Dorada, Colombia, emite 1 414,74 tn de CO₂/año, quiere decir 0,93 tn CO₂/vehículo/año y el arbolado urbano registrado captura 14,14 tn de CO₂, a razón de 0,19 tn de CO₂ por árbol; tan solo el 1,01% del dióxido de carbono emitido es capturado por los árboles.

La investigación realizada en la ciudad de Ibarra, registra una captura de CO₂ superior a las investigaciones mencionadas; por un lado, Quiceno (2015) captura el 92,77% menos de CO₂ por árbol. Por su parte, Domínguez (2016) muestra una capacidad inferior del 99,87% de capturar carbono por el arbolado urbano, ya que tan solo mitiga el 0,08% del total de emisiones de CO₂, frente al 63,96% de emisiones capturadas, estimado en esta investigación. Así también, Chávez (2018), analiza que en 40 años el arbolado urbano pierde el 50% en promedio de la capacidad de capturar carbono. Esto debido a la expansión urbana que ha reducido las áreas verdes existentes.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En la ciudad de Ibarra existen 1 002 árboles, ubicados en las ocho avenidas muestreadas del casco urbano, la familia Fabaceae predomina con seis géneros registrados, con el 21,43% de la población; mientras, la familia Meliaceae presenta un solo individuo del género *Cedrela*, lo que representa apenas el 0,10% del total de individuos censados.

El arbolado urbano de las ocho avenidas registró una producción de 1 438,31 tn de biomasa; *Schinus molle* L. con el 41,76% y *Fraxinus excelsior* L. con el 18,99% son las especies con mayor producción de biomasa, y *Schefflera* sp y *Tecoma stans* (L.) Kunth con el 0,009 y 0,005% respectivamente son las especies de menor producción de biomasa.

El total de carbono capturado fue 719,41 tn, las especies nativas capturan el 61,20% y las especies exóticas el 38,80%, pese a que existe un mayor número de especies exóticas, la mayor captura de carbono es registrada por las especies nativas; *Schinus molle* L. es la especie que presenta la mayor cantidad de árboles, capturando el 41,76% de carbono

En las ocho avenidas de la urbe ibarreña, se capturó 2 640,22 tn de CO₂, por debajo de las 4 127,8 tn emitidas por el parque automotor para el año 2017; este arbolado mitigó el 63,96% de CO₂ emitidos al ambiente, por lo que se requiere un incremento de 565 árboles para mitigar el 36,04% restantes de las emisiones generadas por la combustión de diésel y gasolina producto del consumo de los vehículos.

5.2 Recomendaciones

Monitorear las especies ya identificadas en el presente estudio, sobre la producción de biomasa y captura de carbono, y ampliar a otras áreas como: parques, jardines, aceras, áreas de recreación, escuelas, colegios, cementerios.

Incentivar el uso de especies nativas, como *Schinus molle* L. y *Jacaranda mimosifolia* D.Don, por ser plantas potenciales de producción de biomasa, y a su vez que almacenen mayor cantidad de dióxido de carbono, también se debe generar un mayor control de las emisiones de CO₂, esto ayudara a la vegetación urbana a compensar de forma más eficiente las emisiones producto de la quema de combustibles.

Incrementar el número de árboles en las áreas verdes existentes en la ciudad, con el propósito de equilibrar la emisión y captura de CO₂, en lo posible mantener los árboles maduros y grandes, por su capacidad de almacenar carbono.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, M. F. (2010). *Revisión de los modelos CITYgreen, i-tree Tools ECO y i-Tree Tools Streets, como herramientas para la cuantificación de los servicios Ecosistemicos prestados por el arbolado urbano de Bogotá*. Bogotá, Colombia.
- Acuña. (1996). Evaluación de daños causados por especies forestales plantadas en Santa Fe de Bogotá. En Universidad Nacional de Colombia, Santa Fe de Bogotá. Acuña, F. Evaluación de daños causados por especies forestales plantadas en Santa Fe de Bogotá. Tesis ingeniería.
- Alanís. (2000). *Valor biológico de la diversidad de especies en el arbolado urbano y Beneficios de las comunidades de arboles en la ciudad*.
- Alanís, E., Jiménez, J., Mora-Olivo, A., Canizales, P., & Rocha, L. (2014). Estructura y composición del arbolado urbano de un campus universitario del noreste de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 95-101.
- Amaya, C., Hernandez, C., Jones, C., Quintero, O., & Lesmes, S. (2018). *Identificación de la Variación de Captura de Carbono por el Aprovechamiento Forestal en la Mega Obra el Tercer Carril en la Ciudad de Bucaramanga*. Lima, Perú.
- Arribas, C. (2013). *Captura y almacenamiento de carbono*. *El Ecologista*.
- Asamblea Nacional. (2017). *Codigo Organico del Ambiente*. Quito: Editora nacional del Ecuador.
- Benavides, H., & León, G. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y cambio climático*. Colombia.
- Bolaños, C. (2015). *El Norte Diario Regional Independiente*. Obtenido de <http://www.elnorte.ec/ibarra/actualidad/60936-parque-automotor-8-ibarra-aumenta.html>

- Borgiani & Arruda. (2016). *Análise qualitativa e quantitativa da arborização urbana de um bairro no Bauru, São Paulo, Brasil*. Obtenido de <http://oaji.net/articles/2017/5565-1508029547.pdf>
- Braga, L. (2015). *Dióxido de carbono*. Obtenido de <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/DioxiCar.htm>
- Cáceres, L. S., & Cáceres, N. A. (2011). *Inventario de Emisiones de Gases del Efecto de Invernadero en el Distrito Metropolitano de Quito. Año 2007*. Quito, Ecuador.
- Canales, C. P. (2002). *Beneficios del Arbolado Urbano*. Obtenido de Academia.edu: https://www.academia.edu/19875001/Beneficios_del_arbolado_urbano
- Cancino, J. (2012). *Dendrometría Básica*. Obtenido de Bibliotecas Udepositorio: <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/407>
- Chamorro, M., & Falconi, S. (2019). *Potencial de secuestro de carbono por los árboles en los parques urbanos de los Distritos de El Tambo, Huancayo y Chilca*. Huancayo, Perú.
- Chávez, A. L. (2018). *Gestión de crecimiento y silvicultura urbana para la captura de carbono (CO2) de los Distritos de San Martín de Porres, Los Olivos y Comas, Lima 1980 – 2015*. LIMA.
- Chuanglin, C., Wang, S., & Li, G. (2015). *Changing urban forms and ethícu dioxide emissions in China: A case study of 30 provincial capital cities*.
- COOTAD. (2012). *Código orgánico de organización territorial, Autonomía y Descentralización*.
- Correa-Galleguillos, P., & De la Barrera, F. (2017). Análisis de la Estructura y de la composición del arbolado en parques del área Metropolitana de Santiago. *Chloris chilensis, Revista chilena de flora y vegetación.*, 14.
- Crojethovich, A., & Barsky, A. (2012). Ecología de los bordes urbanos. En M. D. Pace, H. C. Bartrons, & et.al, *Ecología Urbana* (pág. 374). Buenos Aires.
- Dauber, E., Terán, J., & Guzmán, R. (2006). *Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia*.

- De la Vega, J. A. (2007). *Calentamiento Global- Captura de Carbono*. México.
- Domínguez, M. A. (2016). *Estimaciones de captura de los parques y emisiones de CO₂ vehicular en Tijuana, B.C.* Tijuana, B. C., México.
- EIA. (2 de Febrero de 2016). *US Energy Information Administration*. Obtenido de Carbon Dioxide Emissions Coefficients: https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php
- Energy, W. (2013). *The World Energy Model: Marco Baroni, Directorate of Global Energy Economics, International Energy Agency*. Obtenido de <http://www.worldenergyoutlook.org>
- Escobedo, F., Varela, S., Zhao, M., Wagner, J., & Zipperer, W. (2010). Analyzing the efficacy of subtropical urban forests in offsetting carbon emissions from cities. En *Environmental Science y Policy* (págs. 362-372). Florida, EUA.
- Fajre, S. M. (2001). *Plan urbano ambiental de la ciudad de Buenos Aires*.
- FAO. (2016). *Beneficios de los árboles urbanos*. Obtenido de <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/411598/>
- FAO. (2017). *Directrices para la silvicultura urbana y periurbana*. Roma.
- Farinango, J. (2020). *Estimación de la captura de carbono del arbolado urbano en la cabecera cantonal del Otavalo, provincia de Imabura*. Ibarra, Ecuador.
- Fogel, R. (2012). *Cambio climático, alteraciones ambientales y pobreza en Paraguay, Buenos Aires, Argentina: Consejos Latinoamericanos de Ciencias Sociales*.
- Foladori, G. (2001). *Los Problemas Ambientales Urbanos y sus Causas*. Curitiba.
- Gallo, M. H. (2017). *Servicios ecosistémicos del arbolado urbano del Carmen de Bolívar, Departamento de Bolívar*. Sincelejo.
- García & Cantillo, J. (2015). *Biomasa aérea almacenada en Ficus soatensis y Tecomaria stans en la localidad de Puente Aranda, Bogotá, Colombia*. Bogotá, Colombia.

- García., L. (2017). *Estimacion Indirecta de Emisiones Contaminantes de Fuentes Moviles en el casco urbano de la cabecera cantonal del Cantón Sevilla de Oro*. Cuenca.
- Genes, A. L., & Lopez, J. (2010). *Evaluacion No-Destructiva de la Densidad de la madera de arboles vivos en pie de Eucalyptus grandis utilizando resitografo*.
- Hernández, M. (2018). *Diversidad, Estructura y Captura de CO2 de la Flora Urbana del Municipio de Galeras, Departamento de Sucre, Colombia*. Colombia.
- Hernández, P. (2014). *Captura de carbono del arbolado urbano de la Unidad Deportiva Sierra Hermosa, Tecámac, Edo de México*. Chapingo, Mexico.
- Herrán, C. (2012). *El cambio climático y sus consecuencias para América Latina*.
- Hubenthal, A. (2010). *Evaluación del sector transporte en Ecuador con miras a plantear medidas de mitigación al Cambio Climático*.
- ICRAF. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*.
- Imaña-Encinas, J. (1998). *Dasometría practica*. Freiburg: Universidad de Brasilia.
- INAMHI, I. N. (2018). *Datos Meteorológicos 2012 - 2017*. Ecuador.
- INEC. (2015). *Anuario de estadísticas de transporte 2015*.
- IPCC. (2005). *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*.
- IPCC. (2006). Capitulo 3. Combustión móvil. En IPCC, *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*.
- IPCC. (2007). *Cuarto informe de evaluación del IPCC, Grupo de Trabajo III, Cambio Climático – Mitigación del Cambio Climático, Primera Comunicación Nacional del Ecuador a la CMNUCC*.
- Jenkins, Birdsey, & Pan. (2001). Biomass and NPP estimation for the mid-Atlantic region (USA) using plot-level forest inventory data. *Ecological Applications*, 1174-1193.

- Keller, J., & Konijnendijk, C. (2012). *Short communication: a comparative analysis of municipal urban tree inventories of selected major cities in North America and Europe.*
- Lavell, A. (2005). Gestión de Riesgos Ambientales Urbanos. En Flacso.
- Leal, C. E., Leal, N. E., Alanís, E. R., Pequeño, M. L., Mora-Olivo, A., & Buendía, E. R. (2018). Estructura, composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales Vol. 9 (48)*, 1-19.
- Martinez, Roig, Cavagnaro, & Cantón. (2008). Arbolado urbano: impacto del estrés hídrico en el crecimiento de forestales jóvenes de uso común en ciudades áridas. *Revista AVERMA*, 33-36.
- Meza, M. (2018). *Medición del diametro (dap) de un árbol.* Ciudad de México, México: LAVEP- UNAM
- Mohren, & Goldewijkt, k. (1994). *CO2 fix model. Institute of Forestry and Nature Research.* Wageningen, Países Bajos.
- Molina. (2000). *Registros climatológicos de las áreas urbanas.*
- Návar, J. (2010). *Methods of Assessment of Aboveground Tree Biomass. In: Biomass, M. Momba and Faizal Bux.* Rijeka, Croatia.
- Nowak, D., & Crane, D. (2002). *Carbon storage and sequestration by urban tree. Environmental Pollution.*
- Olmos, B. (1991). *El medio Ambiente Urbano y la Vegetación. Estudio de vegetación de la.* Edit. Generalitat Valenciana. Conselleria D´Agricultura i Pesca.
- ONU. (2014). *La situación demográfica en el mundo 2014. Informe conciso.*
- ONU-Habit. (2012). *Estado de las Ciudades de América Latina y El Caribe 2012. Rumbo a una nueva transición urbana.*
- Ortega. (2013). *Ecología urbana. Obtenido de Experiencias de America Latina:.* Obtenido de www1.inecol.edu.mx/libro_ecologia_urbana/ecologia_urbana

- PDOT-IBARRA. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Ibarra*. Ibarra.
- Pérez, J., & Merino, M. (2012). *Definiciones.de*. Obtenido de <https://definicion.de/altura/>
- Pitola, L. C. (2012). *Capacidad sumidero de carbono del arbolado urbano de Rosario: Primera aproximación*.
- Quiceno, M. G. (2015). *Propuesta para mitigar la contaminación atmosférica en la zona centro del casco urbano De La Doeada- Caldas, generada por el parque automotor, mediante la arborización urbana*. . La Dorada, Colombia.
- Raffino, M. E. (29 de Noviembre de 2019). *Concepto de*. Obtenido de <https://concepto.de/problemas-ambientales/>
- Ramos, G. D., Chávez, C. C., & Juárez, P. R. (2012). Cambio Climático y el Metabolismo Urbano de las Megaurbes Latinoamericanas. En *Hábitat Sustentable*.
- Ravella, O. (2002). *Emisión de contaminantes vehiculares de origen energético en centros urbanos*.
- Ríos, R. A., Arango, F., Vicentini, V. L., & Acevedo-Daunas, R. (Junio de 2013). *Estrategias de mitigación y métodos para la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte*. Obtenido de anco Interamericano de Desarrollo : <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Estrategias-de-mitigaci%C3%B3n-y-m%C3%A9todos-para-la-estimaci%C3%B3n-de-las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-en-el-transporte.pdf>
- Rodrigues De Olivera, A. C., & Carvalho, S. C. (2010). Arborização de vias públicas e aspectos sócio-econômicos de três vilas de Ponta Grossa. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana REVSBAU*, 42-58.
- Rodríguez, Y. M., Ajete, A. H., Orta, S. P., Rondón, D. G., & Rivera, J. D. (2018). Comportamiento del carbono retenido en el arbolado urbano en el sur de la ciudad de Guantánamo. *CFORES Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 1-16.
- S.E.C.F, S. E. (2009). *La gestión forestal como herramienta para la adaptación al cambio climático*.

- Salas, J., & Infante, A. (2006). *Producción primaria neta aérea en algunos ecosistemas y estimaciones de biomasa en plantaciones forestales*.
- Salvador, R. (08 de Mayo de 2017). *La Vanguardia-Economía*. Obtenido de <https://www.lavanguardia.com/economia/20170506/422335535562/el-mundo-crece-en-las-ciudades.html>
- Santillan. (1986). *Elementos de dasonomía. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo*.
- SENPLADES. (2017). *Plna Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una vida*. Quito: Semplades.
- Silva, F. M., & Návar, J. d. (2012). Estimación de la densidad de madera en árboles de comunidades forestales templadas del norte del estado de Durango, México.
- Smith, W. (1990). *Air pollution and Forest*. Springer- Verlag, New York.
- Soriano, Ángeles, Martínez, Plascencia, & Razo. (2015). *estimación de la biomasa aérea por componente estructural en Zacualtipán, Hidalgo, México*. Hidalgo, México.
- Sukopp. (1990). Las zonas verdes como factor de calidad de vida en las ciudades. En F. G. Lopera, *CIUDAD Y TERRITORIO Estudios Territoriales, XXXVII (144) 2005*.
- Tarr, J. (1998). *The city and the natural environment*.
- Terradas, J., Franquesa, T., Parés, M., & Chaparro, L. (2011). *Ecología Urbana*.
- Tito, A. (2019). *Plan de silvicultura urbana y periurbana en el Cantón Antonio Ante, Provincia de Imbabura*. Ibarra-Ecuador.
- Tovar, G. C. (2007). *Manejo del arbolado urbano en Bogotá*. Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://masambiente.wordpress.com/concienciacion/>
- Trimiño, G. C. (2014). *Los impactos del cambio climático en la relación población y ambiente en el Caribe*. Cuba.
- Ugalde, L. A. (1981). *Conceptos básicos de dasometría*.

- Voogt, J. A. (2008). *Action Bioscience: Islas de Calor en Zonas Urbanas: Ciudades Más Calientes*. Obtenido de <http://www.actionbioscience.org/esp/ambiente/voogt.html#primer>
- Yepes, Navarrete, Duque, Phillips, Cabrera, Álvarez, . . . Ordoñez. (2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM. Bogotá D.C., Colombia.
- Zhao, M., Kong, Z.-h., Escobedo, F., & Gao, J. (2010). Impacts of urban forests on offsetting carbon emissions from industrial energy use in Hangzhou, China. En J. o. Management.
- Zilio, M. (2008). Emisiones de dióxido de carbono en América Latina. Un aporte al estudio del cambio climático. *Economía y Sociedad*.
- Zobel, & Buijtenen, V. (1989). *Word variation, its causes and control*. Springer-Verlag.
- Zürcher, N. (2017). *Assessing the Ecosystem Services Deliverable: The Critical Role of the Urban Tree Inventory*. *The Urban Forest*, 101, 1-10.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Ubicación del sitio

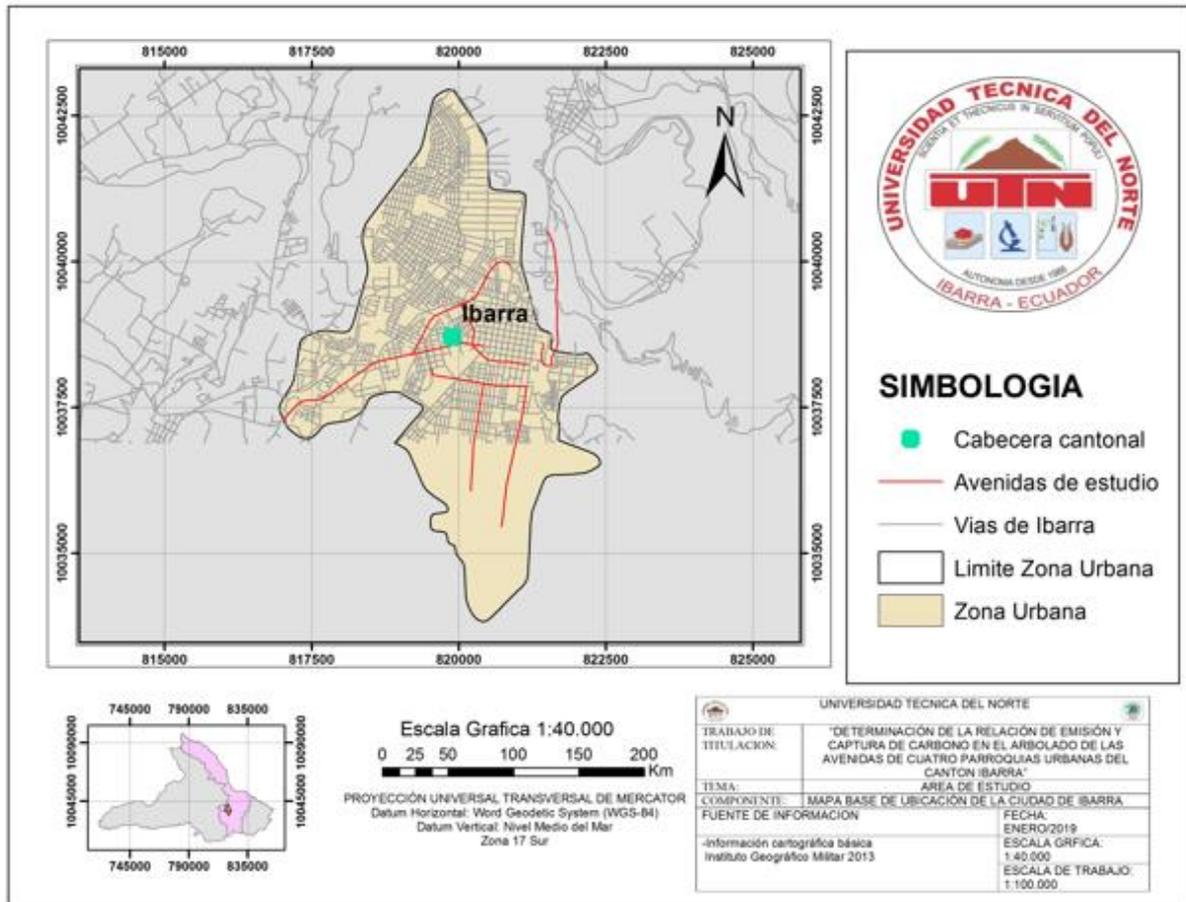


Figura 11. Mapa de ubicación de la zona urbana del cantón San Miguel de Ibarra

Anexo 2. Tablas

Tabla 4.
Consumo de Combustible en la Ciudad de Ibarra

Año	Segmento	Provincia	Cantón	Producto	Unidad	Total
2007	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Diésel 2	Galones	11.228.677
2007	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina extra	Galones	7.799.658
2007	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina súper	Galones	2.063.231
2008	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Diésel 2	Galones	11.099.895
2008	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina extra	Galones	8.433.645
2008	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina súper	Galones	2.180.325
2009	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Diésel 2	Galones	12.091.378
2009	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina extra	Galones	9.775.682
2009	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina súper	Galones	2.515.850
2010	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Diésel 2	Galones	13.746.327
2010	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina extra	Galones	11.217.742
2010	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina súper	Galones	2.788.568
2011	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Diésel 2	Galones	14.106.600
2011	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Diésel Premium	Galones	1.154.600
2011	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina extra	Galones	12.487.500
2011	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina súper	Galones	3.011.300
2012	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Diésel Premium	Galones	17.180.500
2012	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina extra	Galones	13.797.400
2012	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina súper	Galones	2.747.700
2013	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Diésel Premium	Galones	19.351.538
2013	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina extra	Galones	15.004.586
2013	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina súper	Galones	2.591.072
2014	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Diésel Premium	Galones	20.161.966
2014	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina extra	Galones	15.620.988
2014	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina súper	Galones	2.616.651
2015	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Diésel Premium	Galones	20.677.294
2015	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina extra	Galones	16.243.913
2015	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina súper	Galones	2.795.569
2016	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Diésel Premium	Galones	18.988.894
2016	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina extra	Galones	16.629.219
2016	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina súper	Galones	2.373.120
2017	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Diésel Premium	Galones	19.890.573
2017	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gas. Extra	Galones	17.189.451
2017	Automotriz	Imbabura	Ibarra	Gasolina súper	Galones	2.102.678

Fuente: ARCH (2017)

Tabla 5.

Tabla de Factores de Emisión de la Energy Information Administration (EIA)

Carbon Dioxide Emissions Coefficients by Fuel

Carbon Dioxide (CO ₂) Factors:	Pounds CO ₂		Kilograms CO ₂		Pounds CO ₂	Kilograms CO ₂
	Per Unit of Volume or Mass		Per Unit of Volume or Mass		Per Million Btu	Per Million Btu
For homes and businesses						
Propane	12,70	gallon	5,76	gallon	139,05	63,07
Butane	14,80	gallon	6,71	gallon	143,20	64,95
Butane/Propane Mix	13,70	gallon	6,21	gallon	141,12	64,01
Home Heating and Diesel Fuel (Distillate)	22,40	gallon	10,16	gallon	161,30	73,16
Kerosene	21,50	gallon	9,75	gallon	159,40	72,30
Coal (All types)	4.631,50	short ton	2.100,82	short ton	210,20	95,35
Natural Gas	117,10	thousand cubic feet	53,12	thousand cubic feet	117,00	53,07
Gasoline	19,60	gallon	8,89	gallon	157,20	71,30
Residual Heating Fuel (Businesses only)	26,00	gallon	11,79	gallon	173,70	78,79
Other transportation fuels						
Jet Fuel	21,10	gallon	9,57	gallon	156,30	70,90
Aviation Gas	18,40	gallon	8,35	gallon	152,60	69,20
Industrial fuels and others not listed above						
Flared natural gas	120,70	thousand cubic feet	54,75	thousand cubic feet	120,60	54,70
Petroleum coke	32,40	gallon	14,70	gallon	225,10	102,10
Other petroleum & miscellaneous	22,09	gallon	10,02	gallon	160,10	72,62
Nonfuel uses						
Asphalt and Road Oil	26,34	gallon	11,95	gallon	166,70	75,61
Lubricants	23,62	gallon	10,72	gallon	163,60	74,21
Petrochemical Feedstocks	24,74	gallon	11,22	gallon	156,60	71,03
Special Naphthas (solvents)	20,05	gallon	9,10	gallon	160,50	72,80
Waxes	21,11	gallon	9,57	gallon	160,10	72,62
Coals by type						
Anthracite	5.685,00	short ton	2.578,68	short ton	228,60	103,70
Bituminous	4.931,30	short ton	2.236,80	short ton	205,70	93,30
Subbituminous	3.715,90	short ton	1.685,51	short ton	214,30	97,20
Lignite	2.791,60	short ton	1.266,25	short ton	215,40	97,70
Coke	6.239,68	short ton	2.830,27	short ton	251,60	114,12

Fuente: U.S. Energy Information Administration estimates.

Note: To convert to carbon equivalents multiply by 12/44. Coefficients may vary slightly with estimation method and across time.

Tabla 6.
Identificación de Especies

Familia	Nombre científico	Nombre común	Origen
ANACARDIACEAE	<i>Schinus molle</i> L.	Molle	Nativa
ARALIACEAE	<i>Schefflera</i> sp	Schefflera	Exótica
ASTERACEAE	<i>Baccharis latifolia</i> Pers	Tilo	Nativa
	<i>Tecoma stans</i> (L.) Kunth	Cholán	Nativa
BIGNONIACEAE	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D.Don	Jacaranda	Nativa
	<i>Spathodea campanulata</i> P.Beauv	Tulipán africano	Exótica
CASUARINACEAE	<i>Casuarina</i> sp	Casuarina	Exótica
CUPRESSACEAE	<i>Cupressus macrocarpa</i> Hartw. Ex Gordon	Ciprés	Exótica
EUPHORBIACEAE	<i>Euphorbia tirucalli</i> L.	Esqueleto	Exótica
	<i>Acacia baileyana</i> . F.Muell	Acacia morada	Exótica
	<i>Acacia melanoxylon</i> R.Br.	Acacia negra	Exótica
FABACEAE	<i>Vachellia macracantha</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Seigler & Ebinger	Espino	Nativa
	<i>Caesalpinia spinosa</i> (Molina) Kuntze	Guarango	Nativa
	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Leucaena	Exótica
	<i>Cassia corymbosa</i> Lam.	Rama negra	Exótica
JUGLANDACEAE	<i>Juglans neotropica</i> Diels.	Nogal	Nativa
	<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. Ex Lam.) Urb.	Balsa	Nativa
MALVACEAE	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i> L.	Cucarda	Exótica
MELIACEAE	<i>Cedrela</i> sp.	Cedro	Nativa
MORACEAE	<i>Ficus benjamina</i> L.	Ficus	Exótica
	<i>Callistemon pallidus</i> (Bonpl.) DC.	Cepillo blanco	Exótica
MYRTACEAE	<i>Callistemon citrinus</i> (Curtis) Skeels	Cepillo Rojo	Exótica
	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Eucalipto	Exótica
	<i>Chionanthus pubescens</i> Kunht	Arupo	Nativa
OLEACEAE	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Fresno	Exótica
PINACEAE	<i>Pinus patula</i> Schltld. & Cham	Pino	Exótica
PLATANACEAE	<i>Platanus orientalis</i> L.	Platano de sombra	Exótica
SALICACEAE	<i>Populus alba</i> L.	Álamo	Exótica

Tabla 7.
Distancia y número de árboles por avenidas

Avenida	distancia avenida (km)	N° arboles	Volumen Total (m³)
Av. El Retorno	2,78	198	207,22
Av. Teodoro Gómez de la Torre	1,65	85	201,74
Av. Pérez Guerrero	0,66	30	35,70
Av. Jaime Roldos	0,71	36	61,47
Av. Atahualpa	2,11	144	136,32
Av. Cristóbal de Troya	2,49	248	215,40
Av. 17 de julio	2,81	71	16,39
Av. Mariano Acosta	2,82	190	50,75
TOTAL	16,03	1002	924,99

Abreviaturas tabla 8.

N/e	=	Número de árboles por especie
Ai	=	Abundancia relativa
AB	=	Área basal
V.T	=	Volumen total
Db	=	Densidad básica
B	=	Biomasa
C	=	Carbono almacenado
CO₂	=	Dióxido de carbono capturado.

Tabla 8.
Resultados del censo forestal

Especie	N/e	Ai (%)	AB (m²)	V.T. (m³)	Db (tn/m³)	B (tn)	C (tn)	CO₂ (tn)
<i>Acacia baileyana</i> F.Muell	9	0,9	0,11	0,42	0,37	2,24	1,12	4,12
<i>Acacia melanoxylon</i> R.Br.	26	2,59	1,17	7,66	0,46	31,84	15,92	58,42
<i>Baccharis latifolia</i> Pers	6	0,6	0,14	0,91	0,36	4,39	2,19	8,05
<i>Caesalpinia spinosa</i> (Molina) Kuntze	4	0,4	0,06	0,36	0,47	2,46	1,23	4,52
<i>Callistemon citrinus</i> (Curtis) Skeels	124	12,4	2,86	12,04	0,43	43,17	21,58	79,21
<i>Callistemon pallidus</i> (Bonpl.) DC.	41	4,09	0,65	7,78	0,45	32,14	16,07	58,98
<i>Cassia corymbosa</i> Lam.	5	0,5	0,12	0,54	0,42	3,23	1,61	5,92
<i>Casuarina</i> sp	1	0,1	0,41	5,21	0,54	26,74	13,37	49,07
<i>Cedrela</i> sp	1	0,1	0,09	0,39	0,34	1,99	1,00	3,65
<i>Chionanthus pubescens</i> Kunht	7	0,7	0,13	0,5	0,63	4,28	2,14	7,85
<i>Cupressus macrocarpa</i> Hartw. Ex Gordon	4	0,4	0,67	5,52	0,37	20,48	10,24	37,57
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	9	0,9	0,93	10,08	0,39	34,98	17,49	64,19
<i>Euphorbia tirucalli</i> L.	1	0,1	0,08	0,27	0,32	1,36	0,68	2,49
<i>Ficus benjamina</i> L.	24	2,4	1,2	5,16	0,31	16,64	8,32	30,53
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	177	17,7	14,7	131,43	0,48	249	124,49	456,86
<i>Hibiscus rosa-sinensis</i> L.	12	1,2	0,26	3,39	0,38	13,99	6,99	25,66
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	106	10,6	8,57	57,51	0,41	134,7	67,35	247,16

Especie	N/e	Ai (%)	AB (m²)	V.T. (m³)	Db (tn/m³)	B(tn)	C (tn)	CO₂ (tn)
<i>Juglans neotropica</i> Diels.	40	3,99	2,22	12,64	0,4	42,5	21,25	77,99
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	7	0,7	0,12	0,46	0,43	2,81	1,41	5,16
<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. Ex Lam.) Urb.	12	1,2	8,93	101,84	0,3	159,6	79,82	292,94
<i>Pinus patula</i> Schltdl. & Cham	1	0,1	0,13	0,85	0,33	3,82	1,91	7,00
<i>Platanus orientalis</i> L.	2	0,2	0,1	0,49	0,41	2,86	1,43	5,25
<i>Populus alba</i> L.	5	0,5	0,53	8,68	0,31	25,88	12,94	47,5
<i>Schefflera</i> sp	1	0,1	0,02	0,07	0,41	0,54	0,27	0,99
<i>Schinus molle</i> L.	210	21	46,6	379,56	0,37	351,7	175,87	645,43
<i>Spathodea campanulata</i> P.Beauv	164	16,4	21,9	162,3	0,24	185,1	92,57	339,74
<i>Tecoma stans</i> (L.) Kunth	1	0,1	0,01	0,04	0,34	0,29	0,14	0,53
<i>Vachellia macracantha</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Seigler & Ebinger	2	0,2	1,07	8,88	0,52	40,02	20,01	73,43
TOTAL	1002	100	113	925	-	1439,8	719,4	2640,22

Anexo 3. Ilustraciones



Ilustración 1 .Identificación de especies



Ilustración 2. Medición de DAP.



Ilustración 3. Medición de Diámetro de Copa



Ilustración 4. Obtención de muestras con el Barreno de Pressler



Ilustración 5. Etiquetado de muestras



Ilustración 6. Pesaje de muestras