



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**

**ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO DEL ARBOLADO URBANO EN LA
CABECERA CANTONAL DE OTAVALO, PROVINCIA DE IMBABURA.**

AUTOR

Jesús Neptalí Farinango Carlosama

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

“ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO DEL ARBOLADO URBANO EN LA
CABECERA CANTONAL DE OTAVALO, PROVINCIA DE IMBABURA.”

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

TRIBUNAL TUTOR

Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, Mgs.
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

Ing. Eduardo Jaime Chagna Avila, Mgs.
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Lic. Carmen Amelia Alvear Puertas, Mgs.
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TRITULACIÓN

FIRMA



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 identidad:	1003650932		
Apellidos y nombres:	Farinango Carlosama Jesús Neptalí		
Dirección:	Otavalo, Eugenio Espejo sector Arriaspamba		
Email:	jfari316@hotmail.com		
Teléfono fijo:	-	Teléfono móvil:	0988897061

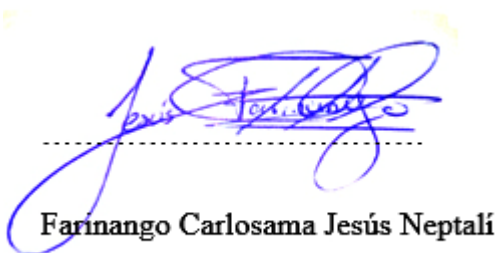
DATOS DE LA OBRA	
Título:	“ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO DEL ARBOLADO URBANO EN LA CABECERA CANTONAL DE OTAVALO, PROVINCIA DE IMBABURA.”
Autor:	Farinango Carlosama Jesús Neptalí
Fecha: dd/mm/aaaa	12 de Junio del 2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
Programa:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
Título por el que opta:	Ingeniero Forestal
Director:	Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, Mgs,

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta 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 el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a 12 días del mes de Junio de 2020

EL AUTOR:



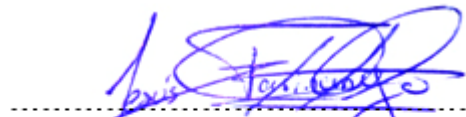
Farinango Carlosama Jesús Neptalí



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Farinango Carlosama Jesús Neptalí, con cédula de ciudadanía Nro. 100365093-2; manifiesto la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de titulación denominado **“ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO DEL ARBOLADO URBANO EN LA CABECERA CANTONAL DE OTAVALO, PROVINCIA DE IMBABURA.”**, que ha sido desarrolla para optar por el título de Ingeniero Forestal en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.



Farinango Carlosama Jesús Neptalí
C.C.: 100365093-2

Ibarra, a los 12 días del mes de junio de 2020

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA - UTN

Fecha: 12 de Junio del 2020

Farinango Carlosama Jesús Neptalí: **“ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO DEL ARBOLADO URBANO EN LA CABECERA CANTONAL DE OTAVALO, PROVINCIA DE IMBABURA.”** /Trabajo de titulación. Ingeniero Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 12 de Junio de 2020. 90 páginas.

DIRECTOR: Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, Mgs.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Estimar el potencial del arbolado urbano como sumidero de carbono en la cabecera cantonal de Otavalo. Entre los objetivos específicos se encuentra: Caracterizar el arbolado urbano, Estimar la captura de carbono de la biomasa del arbolado urbano y Establecer la relación existente entre la emisión y el almacenamiento de carbono.

Fecha: 12 de Junio de 2020


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


.....
Jesús Neptalí Farinango Carlosama
Autor

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mi hermano Marcos Andrés Farinango, quien me enseñó a luchar por lo que uno quiere y seguir adelante aunque el camino sea difícil, te quiero hermanito, sé que desde el cielo sigues guiando mi camino.

A mis padres Patricio Farinango y María Carlosama por haberme convertido en la persona que soy, con sus consejos, valores, enseñanzas, sobre todo por siempre confiar en mí y nunca darse por vencidos.

AGRADECIMIENTO

A mis padres por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida estudiantil, por su preocupación y comprensión durante la realización de este trabajo. A mis hermanos: Fabian, Byron y Anita que siempre estuvieron ahí para mí cuando más los necesite, de igual manera a toda mi familia.

A mi director Ing. José Carvajal que creyó en mí y en la realización de este estudio, quien con su apoyo y guiarme con sus conocimientos, igualmente al Ing. Eduardo Chagna y Mgs. Carmen Alvear, quienes me apoyaron día a día con sus consejos y apoyo para la realización de esta investigación.

A la Ing. María Isabel Vizcaíno quien ha sido más que una docente, una amiga y una persona fundamental en la realización de esta investigación y de igual manera un agradecimiento muy especial a toda la familia Vizcaíno que me abrió muy calurosamente las puertas de su casa.

A mi padrino Galo Farinango quien me apoyo cuando más lo necesitaba y ha sido un ejemplo a seguir para mí.

A mis amigos que hicieron de la universidad uno de los momentos más hermosos de mi vida, gracias por su amistad, especialmente a quienes de una u otra forma siempre me ayudaron cuando más lo necesite Jhonatan, Jhon, Brayan, Carlos y Nathy. Finalmente un agradecimiento especial a Erika Carlosama que ha sido como mi hermana y un apoyo fundamental para mí.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Aprobación.....	ii
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	iii
CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	v
REGISTRO BIBIOGRÁFICO	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE TABLA	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	2
1.1.1 General.....	2
1.1.2 Específicos.....	2
1.2 Preguntas directrices	2
CAPÍTULO II.....	3
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)	4
2.1.2.1. Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD)	4
2.1.4 Toda una vida plan nacional para desarrollo (2017 – 2021).....	4
2.1.5 Línea de investigación	5
2.2 Fundamentación teórica	5
2.2.1 Carbono.....	5
2.2.1.1 Ciclo del carbono	5
2.2.1.2 Dióxido de carbono.....	6
2.2.2 Cambio climático	7
2.2.2.1 Causas del cambio climático.....	7
2.2.2.2 Efecto invernadero	8
2.2.2.3 Gases efecto invernadero	8
2.2.3 Biomasa	9
2.2.4 Carbono en biomasa arbórea.....	9
2.2.5 Captura carbono	10
2.2.6 Método para la determinación de biomasa	11
2.2.6.1. Método destructivo o directo	11
2.2.6.2 Método no destructivo o indirecto	11
2.2.7 Factores de expansión de biomasa y carbono	12
2.2.8 Área urbana.....	12
2.2.9 Silvicultura urbana.....	12
2.2.9.1 Aéreas verdes	13
2.2.9.2 Arbolado urbano	13

2.2.9.3 Bosque urbano	14
2.2.10 Problemas ambientales	15
2.2.10.1 Problemas ambientales en la zona urbana	15
2.2.10.2 Incremento del parque automotor	16
2.2.10.3 Emisiones de Dióxido de carbono (CO ₂).....	16
2.2.11 Calculo de emisiones de CO ₂	16
2.2.12 Servicios ambientales	18
2.2.12.1 Reducción de la temperatura y efectos micro climáticos.	18
2.2.12.2 Calidad del aire	18
2.2.12.3 Reducción de CO ₂	18
2.2.12.4 Biodiversidad	19
2.2.13 Especies nativas y especies exóticas.....	19
2.2.14 Importancia de las especies nativas y exóticas en el arbolado urbano	19
CAPÍTULO III.....	21
MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1 Ubicación del sitio	21
3.1.1 Política	21
3.1.2 Geográfica.....	21
3.1.3 Límites	21
3.2 Datos climáticos.....	21
3.3 Materiales, equipos y software	21
3.4 Metodología	22
3.4.1 Censo forestal	22
3.4.1.1 Diámetro a la altura del pecho	22
3.4.1.2 Diámetro de copa	22

3.4.1.3	Altura total	23
3.4.1.4	Altura de copa.....	23
3.4.1.5	Estado fitosanitario	23
3.4.2.	Extracción de muestra del fuste.....	24
3.4.3	Abundancia relativa	24
3.4.4	Densidad básica de las especies identificadas en el arbolado urbano.....	25
3.4.5	Área Basal.....	25
3.4.6	Volumen.....	26
3.4.7	Biomasa del Fuste	26
3.4.9	Biomasa de raíces	27
3.4.10	Biomasa de palmeras	28
3.4.11	Captura de carbono	28
3.4.12	Emisiones de CO ₂	29
3.4.12.1	Estimación de la velocidad media	29
3.4.12.2	Análisis y clasificación del parque automovilístico.....	30
3.4.12.3	Factores de emisión	31
3.4.12.4	Emisiones por periodo de tiempo	33
3.4.13	Establecer la relación existente entre la emisión y el almacenamiento de carbono.....	33
3.4.14	Análisis estadístico	34
CAPÍTULO IV		35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		35
4.1	Caracterización del arbolado urbano	35
4.1.1	Sitios evaluados en el casco urbano.....	35
4.1.2	Censo	36
4.1.3	Especies	36

4.1.4 Parámetros Dasométricos	39
4.2 Biomasa.....	40
4.2.1 Estimación de biomasa y carbono por sitio evaluado.....	40
4.3 Carbono.....	42
4.3.1 Estimación del carbono captura por el arbolado urbano.....	42
4.4 Emisiones de CO ₂	44
4.4.1 Composición del parque automotor.....	44
4.4.2 Estimación de CO ₂ emitido.....	45
4.5 Correlaciones	46
4.5.1 Relación de emisión de CO ₂ , el carbono capturado, número de árboles y vehículos de la urbe.....	46
CAPÍTULO V.....	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
5.1 Conclusiones.....	49
5.2 Recomendaciones	49
CAPÍTULO VI	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
CAPÍTULO VII	58
ANEXOS	58
Anexo 1. Figuras.....	58
Anexo 2. Tablas	60
Anexo 3. Fotografías.....	63

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Materiales, equipos y software.....	22
Tabla 2. Estado del árbol.....	23
Tabla 3. Guía de clasificación vehicular	31
Tabla 4. Factores de emisión de CO2	32
Tabla 5. Ecuaciones estadísticas	34
Tabla 6. Lugares censados	36
Tabla 7. Familias y especies del inventario urbano	37
Tabla 8. Resumen de clasificación del muestreo al parque automotor	45
Tabla 9. Estadística descriptiva.....	60
Tabla 10. Resumen del censo forestal.....	61
Tabla 11. Factor de emisión medio para cualquier tipo de conducción	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras 1. Diagrama del ciclo geo-bioquímico del Carbono	6
Figuras 2. Mapa de ubicación de parques y avenidas registradas en la investigación.....	35
Figuras 3. Caracterización dasométrica del arbolado urbano	39
Figuras 4. Estimación de biomasa y carbono por tipo de sitio	41
Figuras 5. Estimación de biomasa por lugar	41
Figuras 6. Estimación de biomasa por especie.	42
Figuras 7. Carbono capturado por especie	43
Figuras 8. Porcentaje de emisiones de CO ₂ por lugar	45
Figuras 9. Relación de emisiones de CO ₂ – biomasa.....	46
Figuras 10. Número de Vehículos – número de árboles	47
Figuras 11. Relación de número de árboles – emisiones de CO ₂	47
Figuras 12. Mapa de Ubicación	58
Figuras 13. Estado sanitario del arbolado urbano	59
Figuras 14. Promedio de carbono capturado por especie.....	59

TITULO: “ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO DEL ARBOLADO URBANO EN LA CABECERA CANTONAL DE OTAVALO, PROVINCIA DE IMBABURA.”

Autor: Jesús Neptalí Farinango Carlosama
Director de trabajo de titulación: Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, Mgs.
Año: 2020

RESUMEN

La presente investigación se realizó en los parques, calles y avenidas en el cantón Otavalo dentro de su cabecera cantonal. Se tuvo como objetivo principal, estimar el potencial del arbolado urbano como sumideros de carbono en el cantón Otavalo, para lo cual se realizó un censo total de las especies forestales, donde se evaluó la altura total, altura de copa, diámetro a altura del pecho (Dap), diámetro de copa. De la misma manera se tomaron muestras del fuste con ayuda del taladro de pressler para el cálculo de la densidad básica de cada una de las especies identificadas. A su vez, se estimó la biomasa de las mismas, utilizando fórmulas establecidas por el IPCC. Las emisiones de CO₂ emitido por el parque automotor fue calculado mediante la utilización de fórmulas establecidas por la guía europea EMEP/CORINAIR, donde se evaluó la velocidad media vehicular y tipo de vehículo que circula en el cantón. Se evaluaron 21 sitios, conformados por calles, avenidas y parques. Donde se identificó un total de 1222 individuos de los cuales el 59% de especies son exóticas y un 41% de especies nativas. Se estimó un total de 319,94 Ton de biomasa y un total de 159,972 Ton de carbono almacenado. Por su parte se determinó 298,41 Ton de CO₂ emitidas al ambiente durante el año 2019 por el parque automotor. Obteniendo un coeficiente de 0,23% en una correlación del porcentaje de carbono capturado versus las emisiones de CO₂, un dato muy bajo; lo cual indica la insuficiencia de cobertura forestal en la cabecera cantonal de Otavalo para contrarrestar las emisiones de CO₂ emitidas al ambiente.

Palabras clave: dióxido de carbono, captura de carbono, biomasa, emisión de carbono, censo, antrópico.

TITLE: “ESTIMATION OF THE CARBON CAPTURE OF THE URBAN TREE IN THE CANTONAL HEAD OF OTAVALO, PROVINCE OF IMBABURA.”

Author: Jesús Neptalí Farinango Carlosama

Director of thesis: Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, M.Sc.

Year: 2020

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the parks, streets and avenues in the Otavalo canton within its cantonal head. The main objective was to estimate the potential of urban trees as carbon sinks in the Otavalo canton, for which a total census of forest species was carried out, where the total height, crown height, diameter at chest height were evaluated (Dap), cup diameter. In the same way, samples of the stem were taken with the help of the pressler's drill to calculate the basic density of each of the identified species. In turn, their biomass was estimated, using formulas established by the IPCC. The CO₂ emissions emitted by the vehicle fleet was calculated using the formulas established by the European guide EMEP / CORINAIR, where the average vehicle speed and type of vehicle circulating in the canton were evaluated. 21 sites, made up of streets, avenues and parks, were evaluated. Where a total of 1222 individuals were identified of which 59% of species are exotic and 41% of native species. A total of 319.94 tons of biomass and a total of 159,972 tons of stored carbon were estimated. For its part, it was determined 298.41 tons of CO₂ emitted to the environment during 2019 by the automotive fleet. Obtaining a coefficient of 0.23% in a correlation of the percentage of carbon captured versus CO₂ emissions, a very low figure; which indicates the insufficient forest coverage in the cantonal head of Otavalo to offset the CO₂ emissions emitted into the environment.

Keywords: carbon dioxide, carbon capture, biomass, carbon, census, anthropogenic.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El cambio climático, es uno de los problemas ambientales más relevantes en la actualidad; el cual vinculado al aumento potencial de la temperatura de la superficie terrestre y al incremento de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) genera uno de los fenómenos más alarmantes (Ordóñez, De Jong, & Masera, 2001). Dentro de las principales causas del cambio climático, resaltan las emisiones de GEI por parte de la industria y el transporte como principales fuentes de emisión, para el 2017 se estableció un aumento de 0,8 a un 2,0% a nivel mundial según (Saynes Santillán, 2015).

Dada la concentración de población las zonas urbanas son reconocidas como grandes fuentes de emisiones de GEI, principalmente por el uso de combustibles fósiles (Fernández, 2009). Asimismo, se definen como muy vulnerables ante los efectos del cambio climático y por lo tanto, son zonas estratégicas para el desarrollo de proyectos e investigaciones sustentables. (Quiroz, 2013).

El cantón Otavalo no es ajeno a este problema mundial, en los últimos años ha presentado un aumento de emisiones de GEI de hasta un 39% siendo una de las principales causas el desarrollo urbanístico vinculado con el aumento del parque automotor (INEC, 2010). Ante el incremento potencial de las emisiones de GEI al ambiente, es indispensable contar con sumideros de carbono que mitiguen los fenómenos del cambio climático (FAO, 2018). Sin embargo, existen aislados estudios referentes a la contribución de las áreas verde principalmente del arbolado urbano, para reducir las emisiones de GEI según (Escobedo, 2011).

De tal manera es necesario contar con información que permita conocer el potencial del arbolado urbano como sumideros de carbono, mismo que podría ser considerado como uno de los mecanismos de mitigación de emisiones GEI y otros contaminantes atmosféricos, además se podría considerar necesaria esta información para la gestión y manejo de los recursos naturales y paisajísticos de área urbana. (FAO, 2017).

La presente investigación busca generar información con base al diagnóstico tanto del número y conveniencia de los árboles existentes dentro del área urbana del cantón Otavalo; como información que permitirá establecer las mejores especies captadoras de CO₂, de tal manera que pueda ser utilizadas en las áreas verdes de la ciudad, con base al porcentaje de carbono capturado por parte del arbolado urbano de avenidas y parques del sector, lo que permite contribuir a mejorar calidad de vida de los ciudadanos del cantón Otavalo. Dicha información a su vez podrá ser utilizada por el GAD Municipal de San Luis de Otavalo en la toma de decisiones vinculadas a mejorar el componente arbóreo de la ciudad.

1.1 Objetivos

1.1.1 General

- Estimar el potencial del arbolado urbano como sumidero de carbono en la cabecera cantonal de Otavalo.

1.1.2 Específicos

- Caracterizar el arbolado urbano.
- Estimar la captura de carbono de la biomasa del arbolado urbano.
- Establecer la relación existente entre la emisión y el almacenamiento de carbono.

1.2 Preguntas directrices

- ¿Cuánto carbono se encuentra almacenado en el arbolado urbano del cantón Otavalo?
- ¿Cuánto CO₂ emiten los vehículos automotores en la urbe?
- ¿Cuáles son las relaciones existentes entre la emisión y el almacenamiento de carbono en las avenidas?

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 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.

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

2.1.2.1. 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 Toda una vida plan nacional para desarrollo (2017 – 2021)

El presente estudio se enmarca en el objetivo, 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.

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 Carbono

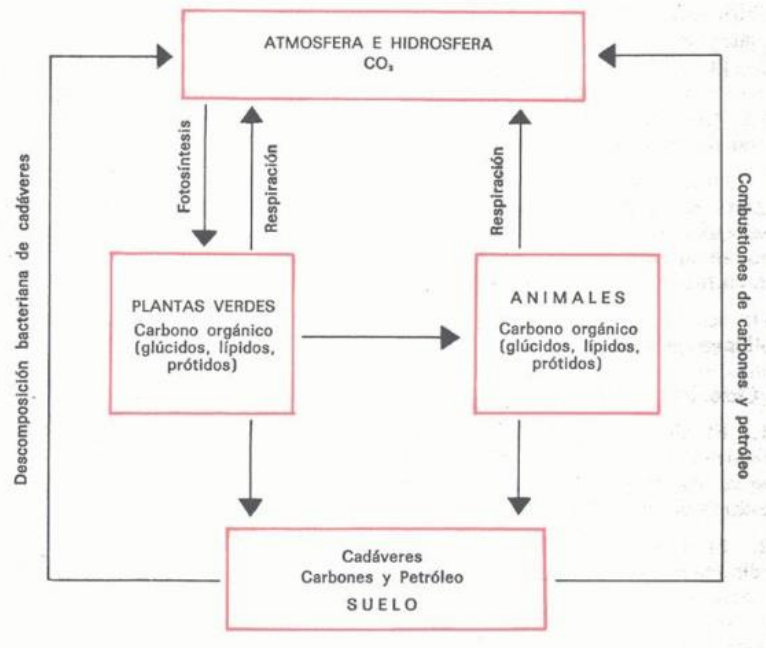
El carbono es el elemento químico clave en los compuestos de naturaleza orgánica, elemento que circula entre los océanos, la atmósfera, el suelo y el subsuelo, instancias que conforman los depósitos, reservorios o almacenes de carbono. (Cruz G. & Osuna S., 2015). El intercambio de carbono entre el reservorio terrestre y el atmosférico, es el resultado de procesos naturales como la fotosíntesis y la respiración, así como de la emisión de gases de origen antrópico (Rügnitz, Chacón, & R, 2009).

2.2.1.1 Ciclo del carbono

El ciclo del carbono se inicia con la fijación del dióxido de carbono atmosférico, mediante la fotosíntesis que realizan las plantas y algunos microorganismos. En la fotosíntesis, el dióxido de

carbono y el agua reaccionan para formar carbohidratos y a la vez, liberar oxígeno a la atmósfera. (Lessard, Gignac, & Rochette, 2019).

Figuras 1. Diagrama del ciclo geo-bioquímico del Carbono



Fuente: (Maldonado, González, & Jiménez, 2007)

Parte de los carbohidratos formados se consumen directamente para suministrar energía a la planta y el dióxido de carbono que así se forma, se libera a través de sus hojas o de sus raíces. Otra parte la consumen los animales, que también liberan dióxido de carbono en sus procesos metabólicos (Saugier & Pontailier, 2006). Las plantas y los animales muertos, los últimos, son descompuestos por los microorganismos del suelo y por esto el carbono de sus tejidos se oxida, forma dióxido de carbono y retorna a la atmósfera (Burban, 2018).

2.2.1.2 Dióxido de carbono

El IPCC, (2013) define al CO₂ de origen natural, subproducto también de la quema de combustibles fósiles procedentes de depósitos de carbono prehistórico, como el petróleo, el gas o el carbón; así también de la quema de biomasa, de los cambios de uso del suelo y otros procesos industriales.

Es el principal gas de efecto invernadero que afecta al equilibrio radiactivo de la Tierra. Es el gas utilizado como referencia para medir otros GEI, por lo que su potencial de calentamiento global es igual a uno. (Solomon, Qin, & Manning, 2007).

2.2.2 Cambio climático

El cambio climático es un fenómeno de gran magnitud, con diversos factores que intervienen y generan consecuencias alarmantes dentro de todo tipo de ecosistema, lo que causa en el peor de los casos un daño irreversible al ambiente. El actual modelo de desarrollo genera un incremento potencial dentro de las principales causas del cambio climático, entre ellas el aumento poblacional y de emisiones de (GEI) a nivel mundial (Castro, 2011).

Herrera Peraza, (2014) Define al cambio climático como la variación global del clima del planeta; fenómeno provocado, tanto por causas naturales, como por la acciones antrópicas; un proceso que puede tardar en manifestarse miles de años el cual afecta a todos los parámetros climáticos y ambientales. Causando pérdidas y daños no solo ambientales sino también económicos y sociales.

2.2.2.1 Causas del cambio climático

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas, menciona como una de las principales causas a las actividades antrópicas para cambio climático; además a partir de 1970 dichas actividades genera un aumento de los gases efecto invernadero en la atmosfera (Vallespinós & Cucurull, 2008).

Dentro de las principales actividades antrópicas como la urbanización, la industria y el transporte genera un incremento de gases efecto invernadero emitidos al ambiente lleva a una considerable aceleración del cambio climático en las últimas décadas, una realidad que amenaza delicadamente a distintos ecosistemas (Useros Fernández, 2012).

Claramente son varias las actividades humanas que generan carbono o CO₂, la misma respiración realizada diariamente por parte de ser humano genera 1 kg de carbono, de la misma manera actividades como el transporte, la industria energética o cualquier tipo de industria genera

CO₂, el cual aumentó considerablemente a partir de la revolución industrial (Del Valle Melendo, 2014).

2.2.2.2 Efecto invernadero

La retención de un porcentaje de la energía emitida por parte de la superficie terrestre, tras ser calentada por la radiación solar, por determinados gases que conforman la atmósfera planetaria, es lo que diversos científicos denominan como efecto invernadero (Benavides, 2007). Un fenómeno que se ha visto atenuado en la tierra por diversas actividades antrópicas que han generado mayores emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera (Mendoza & Jiménez Narváez, 2017).

El efecto invernadero es producto de ciertos gases presentes en la atmósfera, los cuales permite la penetración de la radiación solar hasta la superficie de la tierra, para posteriormente absorber un porcentaje y mediante un efecto reflejo, remitir parte de la radiación infrarroja de regreso al espacio exterior. De tal manera entre mayor sea la concentración de estos gases en la atmósfera, menor será la el porcentaje de radiación devuelta al exterior (Larios M, 2008).

El efecto invernadero permite mantener una temperatura optima y clima adecuado, para el desarrollo dentro del habitad de la superficie terrestre. No obstante el aumento de gases de efecto invernadero en la atmósfera, disminuye la cantidad de radiación regresada al exterior lo cual genera un aumento de cantidad de calor atrapado en la atmósfera, dando origen a alteraciones climáticas y de temperatura (Caballero, Lozano, & Ortega, 2007).

2.2.2.3 Gases efecto invernadero

Dentro del protocolo de Kioto del año 1997 se define a los gases de efecto invernadero (GEI) como una capa que envuelve a toda la tierra, situada en la parte media de la atmósfera, cuya función respectiva, es evitar que toda la radiación solar que ingresa a la tierra sea devuelta, lo que genera una regulación térmica bajo la capa.

Se denominan GEI a los gases que forman parte de la atmósfera natural y antropogénica, cuya presencia contribuyen al efecto invernadero (AQUAE FOUNDATION , s.f.).

Dentro de los principales gases causantes del efecto invernadero, se manifiestan: el dióxido de carbono (CO₂), el metano (NH₄), los clorofluorocarbonos (CFCs) y el óxido nitroso (N₂O). Siendo el CO₂, al que se le atribuye con el 60% del efecto invernadero desde la época preindustrial 1750; al metano entre el 15 y el 20%; y el 20% restantes estaría provocado por otros gases, entre ellos los clorofluorocarbonos y el óxido nitroso (Benavides, 2007).

2.2.3 Biomasa

La biomasa es cantidad de materia orgánica total presente en un ecosistema en un momento dado, el cual es producto del ciclo natural de desarrollo (Meza, 2015). La biomasa es producida por las plantas mediante la intervención de la energía solar en el proceso de crecimiento, esta energía se almacena en la biomasa en forma de carbono. (López W. , 1994).

Según Ibrahim, (2007) señala a la biomasa aérea del arbolado en las siguientes tres porciones.

- **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.

2.2.4 Carbono en biomasa arbórea

La materia orgánica producto de la conversión de la energía solar por parte de la vegetación es lo que se denomina como biomasa arbórea, mediante el proceso de fotosíntesis (Chamorro & Falconi, 2019). Entendiendo a la fotosíntesis como el proceso por el cual la clorofila de las plantas captura energía, y convierte el CO₂ y el agua del suelo en carbohidratos, para formar la materia orgánica; también es la cantidad de carbono orgánico almacenado en el bosque en la parte aérea como subterránea (Quiceno & Tangarife, 2016).

Por su parte el (MINAM, 2015), establece a la biomasa aérea arbórea como la cantidad de materia seca producida por las plantas, expresada en términos de peso y referida a una determinada superficie (t/ha). La forma clásica para determinar la biomasa de los árboles en el tronco, es a partir del cálculo del volumen maderable y la densidad básica de la madera.

En las estimaciones de la cantidad de carbono almacenado para biomasa aérea, se asume generalmente el valor de la fracción de carbono en materia seca en un 50% sin diferenciar especies. No obstante, diferentes estudios denotan la variabilidad del contenido de carbono según especie y tejido del árbol (Soares & Oliveira, 2002).

2.2.5 Captura carbono

La captura de carbono por parte de las plantas, es realizada en el proceso de la fotosíntesis en la etapa oscura, donde el CO₂ es asimilado por moléculas orgánicas que gracias a reacciones enzimáticas lo convierten en carbono disponible para la planta y la almacena como parte de su estructura o reserva (Arévalo & Alegre, 2003).

Los árboles absorben CO₂ atmosférico junto con los elementos del suelo y aire para convertirlos en madera; la cantidad de CO₂ que capturan durante un año, consiste en un pequeño incremento anual que se presenta en la biomasa del árbol (madera) (Méndez & Angel, 2011). Cabe mencionar que aproximadamente entre 42% y 50% de la biomasa de un árbol (materia seca) es carbono. (Wagner, 2011).

Ordóñez, De Jong, & Masera, (2001). Señala que la captura de carbono se da principalmente en el desarrollo de un árbol hasta alcanzar su madurez; al morir este emite la misma cantidad de carbono que capturó. Los sistemas forestales, convierten el CO₂ en madera, almacenando en el transcurso de su vida una pequeña parte del CO₂ que la humanidad produce, esto debido uso de combustibles fósiles (petróleo, gasolina, gas, entre otros.) tanto para su transporte como para la industria, el CO₂ regresa a la atmósfera por diversos factores entre los cuales destaca la descomposición de la materia orgánica muerta en los suelos (Arévalo & Alegre, 2003).

2.2.6 Método para la determinación de biomasa

Para la estimación de la biomasa se utilizan dos tipos de muestreos tanto destructivos y no destructivos, dependiendo de las posibilidades del estudio (MINAM, 2015).

2.2.6.1. Método destructivo o directo

Es un método el cual consiste en cortar el árbol y pesar la biomasa, luego se determina el peso seco. (Fonseca G., 2017). Es denominado también método destructivo, consiste en medir los parámetros básicos de un árbol, tales como diámetro a la altura del pecho (Dap), altura total (At), diámetro de copa (Dc) y longitud de copa (Lc), derribarlo y calcular la biomasa pesando cada uno de los componentes (fuste, ramas, raíces y follaje)

Por su parte (Rügnitz, Chacón, & Porro, 2009) señala al método directo como el más utilizado para la construcción de ecuaciones alométricas y factores de expansión de la biomasa, consiste en cortar uno o más individuos dependiendo del objetivo del estudio, determinar la biomasa por medio del peso directo de cada uno de los componentes (fuste, ramas y hojas) y extrapolar los resultados para el área total.

2.2.6.2 Método no destructivo o indirecto

Es un método utilizado cuando existen árboles de grandes dimensiones y en casos en los que se requiere conocer el C de un bosque sin necesidad de derribar los árboles. (Ruiz D., Rodríguez O., & Leyva L., 2014). Método en el cual se calcula la biomasa del árbol con ecuaciones o modelos matemáticos calculados por medio de análisis de regresión entre variables de los árboles, tales como el diámetro a la altura del pecho (Dap), la altura comercial (Hc) y total (Ht), el crecimiento diamétrico, el área basal y la densidad específica de la madera. (Fonseca G., 2017).

En sus investigaciones (Cancino, 2012) señala como una de las primeras formas de estimar la biomasa de un individuo, mediante el producto de la densidad básica (Db) de una especie, multiplicado por factores de expansión.

$$Db = \frac{Msm}{Vv}$$

Donde: D_b = densidad básica específica de la madera de una especie expresada en (g cm^{-3}), M_{sm} = peso seco de la muestra de madera (g), V_v = volumen fresco (verde) de las muestras (cm^3).

2.2.7 Factores de expansión de biomasa y carbono

Una forma de determinar el contenido de C, es mediante factores de expansión de biomasa (FEB) y carbono (FEC), (Cancino, 2012). Según manifiesta a estos factores como parámetros que transforman el volumen fustal por árbol, en densidad de biomasa y carbono por árbol, para cada tipo de vegetación (Ordóñez & Masera, 2001).

Estos factores normalmente se aplican con el interés de reducir costos y tiempo, así como hacer aproximaciones para lo cual se utiliza los volúmenes de madera con los denominados FEB (Ruiz D., Rodríguez O., & Leyva L., 2014). Estos FEB se obtienen a través de la densidad de la madera para cada especie: se estima la biomasa arbórea y posteriormente, con otro factor de conversión se transforma la densidad en C. (Ordóñez & Masera, 2001).

2.2.8 Área urbana

Según Guillén, (2010) menciona que no es posible establecer un solo concepto unificado y homogéneo de lo urbano y rural, dado que depende del contexto conceptual y sus aproximaciones a la vez de las metodológicas que se utilicen según el propósito para el que se quiera definir lo urbano o rural.

Dependiendo del contexto y el objetivo INEC, (2002) señala, un área urbana es aquella que está compuesta por elementos tangibles como cuadrantes claramente definidos, calles, aceras, servicios urbanos tales como (recolección de basura, alumbrado público entre otros); y actividades económicas definidas.

2.2.9 Silvicultura urbana

La silvicultura urbana según menciona Gallego & Tabares,(2014) es una rama especializada de la silvicultura; cuyo principal objetivo es el adecuado manejo y establecimiento de la vegetación urbana con el fin generar servicios ambientales psicológicos, sociológicos, económicos y estéticos, de manera individual o en grupo.

Por su parte Rivas T, (2004) define a la silvicultura urbana como la ciencia dasonómica que se relaciona con el cultivo de los bosques, naturales o artificiales, en áreas urbanas o periurbanas, para la obtención sostenida de bienes y servicios para los habitantes de la ciudad tales como: aire limpio, captura y almacenamiento de carbono, protección del agua y suelo, entre otras.

La FAO, (2018) menciona a la silvicultura urbana como un mecanismo para reducir riesgos ambientales y para afrontar posibles desastres del mismos, sin embargo a su vez señala, los bosques urbanos y peri urbanos mal gestionados también pueden generar riesgos, por lo cual una de los principales objetivos de la silvicultura urbana es aumentar la resiliencia urbana ante las perturbaciones que puedan producirse.

2.2.9.1 Aéreas verdes

Son áreas públicas o privadas con presencia de árboles, arbustos u otros de origen natural o introducida de manera antrópica, son áreas presentan una gran vegetación, que varía desde áreas compuesta con pasto únicamente, a calles con árboles y/o arbustos, entre otros (Gómez, Tamarit, & Jabayoles, 2001).

La figura de los espacios verdes públicos en la ciudades, no sólo cumplen con una función ornamental, sino coopera a optimizar la calidad del aire correspondiendo que una significativa proporción de Oxido de Carbono CO₂ genera oxígeno, el cual toma el papel de moderador de intercambio de aire, calor y humedad en el paisaje urbano; al mismo tiempo que pasa a tomar un papel paisajístico que participa como deleite visual y por consiguiente mejora la calidad de vida urbana (Rendón Gutiérrez, 2010).

2.2.9.2 Arbolado urbano

El arbolado urbano es un conjunto de árboles que se encuentran dentro de áreas urbanas y son empleadas como elementos estéticos y de recreación, mismas que ayudan a la conservación de energía y agua, disminuyen la escorrentía pluvial e inundaciones, reducen los niveles de ruido y mejoran la calidad de aire. (Dwyer, 1992, citado por Chamorro & Falconi, 2019).

Según Villareal, (2013) define al arbolado urbano como un ecosistema antrópico es decir una agrupación de árboles dispuestos; que constituyen un valor agregado a la imagen urbana

ofreciendo belleza y estética; mismos que se sitúan en parques, plazas, plazoletas, zonas verdes, vías, entre otros.

Por otra parte, Hernández, (2014) menciona que son ecosistemas en los cuales los árboles son los elementos dominantes, los que se encuentran cerca de áreas densamente pobladas y por tanto ofrecen un gran porcentaje para la recreación. En las ciudades el arbolado urbano, ha perdurado gracias a la acción de la población y gobierno locales, que han intervenido en la implementación de políticas para su uso y manejo (FAO, 2018).

2.2.9.3 Bosque urbano

La FAO, (2017) define a los arboles ubicados en las áreas urbanas y periurbanas como bosques urbanos estos son redes o sistemas que comprenden todos los rodales es decir grupos de árboles y árboles individuales; por tanto, se incluyen bosques, árboles en las calles, en los parques y jardines.

Los bosques urbanos, han estado siempre asociados al mejoramiento de la salud física de quienes viven en los sectores urbanos. Estudios realizados dentro de la urbe han demostrado que la vegetación urbana, produce un estado fisiológico más desarrollado en habitantes con un sector paisajístico que en personas que carecen de características naturales en el área (González, 2002).

Según la FAO, (2017) considera bosques urbanos a las siguientes estructuras florísticas:

- **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.
- **Parques y jardines pequeños con árboles (<0,5 ha).** Pequeños parques municipales equipados con instalaciones para la recreación/tiempo libre y jardines y áreas verdes privados.

- **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.

2.2.10 Problemas ambientales

Meira, (2013). define como un problema ambiental, a cualquier efecto negativo provocado por un desequilibrio o a su vez por una variación dentro un ambiente o ecosistema dado, teniendo como uno de los principales factores de deterioro ambiental, a la mayor parte de las actividades antrópicas no planificadas.

La presencia del deterioro ambiental no es punto que pueda restringirse a una característica en general, como la contaminación y degradación tanto de suelo, agua y aire, que a causa una presión social sobre ecosistemas frágiles como resultado del crecimiento de la pobreza. Este argumento considera a la naturaleza como un sistema multifuncional e interrelacionado, donde la alteración de un solo componente puede causar una subsecuente alteración en los demás (Méndez V, 1997).

2.2.10.1 Problemas ambientales en la zona urbana

Aunque es claro que los centros urbanos interactúan con el medio ambiente, sólo últimamente los historiadores del ambiente han comenzado a tratar sistemáticamente esta cuestión (Tarr, 1998). 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 congestionamiento en el tráfico, de crecimiento desordenado entre otras (Foladori, 2001).

El incremento demográfico sin planificación en forma desordenada, ha sido una de la causas que ha marcado negativamente al ambiente, entre ellas exceso de ruidos, contaminación, aumento de vibraciones, incremento poblacional y a su vez incremento de tránsito que produce contaminación en el ambiente entre las consecuencias más resaltantes (Ivanega).

2.2.10.2 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 (INEC, 2015).

La mayor cantidad de emisiones de GEI, se puede atribuir al sector del transporte terrestre. Según la ICN cerca del 88% de las emisiones del sector provienen del transporte terrestre (Hubenthal, 2010).

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 (Hubenthal, 2010).

2.2.10.3 Emisiones de Dióxido de carbono (CO₂.)

Por su motor de combustión que genera dióxido de carbono (CO₂) el automóvil es una de las fuentes principales de gases inductores del efecto invernadero. Este efecto, ha generado ya un incremento de la temperatura media atmosférica (Grandos, 1998).

2.2.11 Cálculo de emisiones de CO₂

En teoría las emisiones CO₂ que se generan en una región podrían calcularse midiendo la cantidad de gases emitidos desde todas las fuentes contaminación , durante el periodo de tiempo. (Racero M, 2006) No obstante, en la práctica, es difícil realizar medidas individuales, por lo cual es más factible el uso de valores representativos por tipo de fuente o utilizando modelos de diferente complejidad, que relacionan la actividad en dicha fuente, con la cantidad y tipo de sustancias que se emiten hacia la atmósfera. European Environment Agency [EEA], (2019).

Según Oficina Catalana del Canvi Climatic, (2013), el cálculo de las emisiones de CO₂ de los automóviles depende de los datos disponibles, pero es mayormente utilizada las metodologías de cálculo para tres tipos de datos, metodología que se complementa con métodos de estimación de la intensidad de tráfico:

- Litros de combustible (diésel o gasolina) consumidos.
- Cuantía económica (dólares/euros) asociada al consumo de combustible (diésel o gasolina).
- Kilómetros recorridos y marca y modelo del automóvil (diésel o gasolina).

La estimación de las emisiones CO₂ por parte del tráfico vehicular es bastante complejo, dado que intervienen una serie de factores tanto de las características del vehículo como del sistema vial además de ser un proceso adaptativo ya que las nuevas normativas sobre emisiones aplicadas a los fabricantes está en continua revisión (Racero M, 2006) . Para la lo cual es indispensable el usos de métodos de asignación de intensidad de tráfico vehicular. (Caliper Corporation, 2005).

2.2.11.1 Métodos de intensidad de tráfico vehicular

Los modelos más utilizados en la estimación de intensidades son los modelos de asignación de tráfico o ampliaciones de los mismos (Grange, 2008). Un modelo de asignación de tráfico estima la intensidad de tráfico en cada calle, están basados en los dos principios de Wardrop. (Cuellar, 2016), todo viajero selecciona aquella ruta que cree que es mínima y el tiempo total de viaje para todos los viajeros es mínimo (Wardrop, 1952).

Los métodos más sencillos de asignación, no se basan en el equilibrio pero son de gran utilidad ya que su uso reiterado permite encontrar soluciones razonables con menos esfuerzo que el requerido por otros métodos más complejos, que exigen la estimación de parámetros como la capacidad y los coeficientes de las funciones volumen-demora (Cuellar, 2016).

El método de asignación todo o nada, es el más simple de todos, ya que los flujos son asignados a la ruta más corta que conecta cada par O-D (punto de origen y destino); la búsqueda de las rutas más cortas se hace bajo el principio de Wardrop. (Marquéz, Monsalve, & Jaimes, 2010).

El método de asignación incremental, asigna la matriz O-D en varias etapas; en cada etapa, una porción fija del total de la demanda es asignada, con base en el algoritmo todo o nada, después de cada etapa, los tiempos de viaje en cada arco son recalculados con base en los volúmenes asignados a cada arco (Caliper Corporation, 2005).

2.2.12 Servicios ambientales

Los parques y avenidas urbanas, son áreas que trascienden más allá de formar parte de un paisaje y promover espacios de esparcimiento y de cercanía con la naturaleza por medio de sus colores, formas y aromas; son capaces de brindar un sin número de servicios ambientales.

“Los servicios ambientales son los beneficios intangibles que los diferentes ecosistemas o biomasa ponen a disposición de la sociedad de manera natural e influyen en el mantenimiento de la vida, generan beneficios y bienestar para las personas y las comunidades” (Reyes Avilés & Gutiérrez, 2010).

2.2.12.1 Reducción de la temperatura y efectos micro climáticos.

La temperatura es una de las variables meteorológicas más susceptibles ante los procesos de desarrollo urbanístico, siendo el centro de la ciudad los puntos con mayor temperatura registrada, respecto a la periferia natural, este efecto urbano sobre el campo térmico superficial en la ciudad se denomina “isla calórica” (Camilloni & Barros citado por González, 2002).

Los bosques urbanos entre sus principales beneficios están, la capacidad de reducir las altas temperaturas presentes en las ciudades. Las plantas presentes en estos sectores urbanísticos tienen la capacidad de enfriar las islas de calor de las zonas urbanas, (Díaz & Curiel, 2012).

2.2.12.2 Calidad del aire

El arbolado urbano permite filtrar el aire y eliminar los contaminantes atmosféricos emitidos por el tráfico y la industria, principalmente el CO₂, produciendo oxígeno y almacenan dentro de sus tejidos dióxido de carbono; a su vez contribuye disminuyendo los gases invernadero que producen el calentamiento global de la atmósfera (Tovar, 2007).

2.2.12.3 Reducción de CO₂

La contribución de CO₂ por parte del arbolado urbano para la posterior liberación de oxígeno, es un servicio ambiental de importancia global que prestan todos los ecosistemas, incluidos los bosques urbanos, por lo cual es más común recurrir a los bosques urbanos para reducir la

contaminación ambiental, siendo este el objetivo en la mayor parte de proyectos de silvicultura urbana (Kuchelmeister & Braatz citado por FAO, 2007).

2.2.12.4 Biodiversidad

Las áreas verdes desempeñan un papel esencial en la biodiversidad urbana. Dentro de los cuales resaltan los parques lineales que pueden servir como corredores biológicos, de igual manera estas zonas permiten mejorar la conservación de la vida y la biodiversidad siendo hábitat importante para la fauna presente en las ciudades (Kuchelmeister G. , 2000).

2.2.13 Especies nativas y especies exóticas

A través del tiempo la humanidad ha estado en constante movimiento, por tal motivo de manera intencional o accidentalmente ha desplazado especies de sus áreas naturales, a hábitats en los cuales nunca habían estado presentes, donde muchas de estas especies se han establecido, generando poblaciones, y han llegado a ser parte fundamental de los ecosistemas a donde se han llevado (Gutiérrez, 2006).

Dentro de este contexto la Juhani, (2001) define a una especie nativa, como especies evolucionadas y residentes en el área por miles de años y adaptados en las condiciones existentes, mismas que primeramente conforman la diversidad biológica de países, regiones y ecosistemas dado.

Una especie exótica o introducida según UICN, (2000) es, “Una especie, subespecie o taxón inferior fuera de su área de distribución natural (pasada o presente) y potencial de distribución (fuera del área que ocupa naturalmente o que pudiera ocupar sin introducción directa o cuidado por parte del hombre), e incluye cualquier parte, gametos o propágulos de tal especie que puede sobrevivir y luego reproducirse”.

2.2.14 Importancia de las especies nativas y exóticas en el arbolado urbano

La urbanización promueve la pérdida de ciertas especies y hábitats en los espacios ocupados, lo que trae consigo la introducción de especies exóticas en las áreas urbanas, (Vélez Restrepo & Herrera Villa, 2015). Por otra parte las especies nativas permiten el establecimiento de relaciones

simbióticas, las que son imprescindibles para la conformación de corredores ecológicos que conecten las áreas verdes de las ciudades y los poblados (Acosta, 2013).

Una de las principales ventajas de especies nativas en la generación de áreas verdes urbanas, es la mejor adaptabilidad dentro del área de plantación, tanto a sus condiciones edafológicas como ambientales y climáticas, sin mencionar el bajo costo de mantenimiento a comparación de la especies exóticas (Uribe, 1998). Pese a esto el uso de las especie nativas en las áreas verdes, están siendo remplazados por las especies exóticas como ornamentales por su fácil reproducción, rápido crecimiento, mejor adaptabilidad a condiciones ambientales desfavorables y por la preferencia de la población, así también por su apariencia estética (Hernández P. , 2014).

Esto sin tomar en cuenta que las especies exóticas o introducida, tiende a ser agresivas en algunos caso afectado la biodiversidad o a su vez causando daños a la infraestructura física de la ciudad, siendo mayor las afecciones que la contribución que tienen estas especies a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos (Acosta, 2013).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del sitio

3.1.1 Política

El estudio se realizó en la provincia de Imbabura, cantón San Luis de Otavalo, dentro de la cabecera cantonal de la misma, en las parroquias urbanas de El Jordán y San Luis.

3.1.2 Geográfica

La ciudad de Otavalo, cabecera cantonal, se encuentra entre las coordenadas 78° 15' 49'' longitud oeste 0° 13' 43'' latitud norte. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Otavalo [GADMO], (2015).

3.1.3 Límites

La cabecera se encuentra limitada: al norte por las parroquias rurales Miguel Egas (Peguiche), Selva Alegre; al sur limita con las comunidades Mojandita del Curubim, Mojandita de Avelino Dávila; al este con Eugenio Espejo, Calpaquí y al oeste con San José de Quichinche. GADMO,(2015).

3.2 Datos climáticos

El cantón Otavalo presenta un amplio rango de precipitación, que va desde los 800 hasta 1800 mm anuales, a su vez el rango general de temperatura en el cantón oscila entre 9 a 21°C, cerca del 60% de la superficie cantonal están entre 10 y 15°C GADMO,(2015).

3.3 Materiales, equipos y software

Los materiales y equipos que se utilizó para la investigación son:

Tabla 1. *Materiales, equipos y software*

Materiales	Equipos	Software
Hoja de campo	Computador	Microsoft Excel
Fundas plásticas	Navegador GPS	Microsoft Word
Etiquetas	Cámara fotográfica	Microsoft Power Point
Útiles de escritorio	Calibrador Pie de Rey	Argis10.2
	Barreno de Pressler	
	Clinómetro Suunto	

3.4 Metodología

Para la realización del presente trabajo se estableció dos fases, una de campo prevista para la recolección de datos y muestras del arbolado urbano y una fase de laboratorio prevista para el procesamiento de los datos.

3.4.1 Censo forestal

Para determinar el número de individuos efectivos en los parques y avenidas, se realizó un censo contando uno a uno los árboles y palmeras existentes. Para lo cual se identificó las especies *in situ* y a través de muestras botánicas en el Herbario de la UTN. A la vez se codificó y localización geográfica a los árboles mediante un navegador GPS.

De la misma manera se determinó los parámetros dasométricos como:

3.4.1.1 Diámetro a la altura del pecho

Para obtener el DAP se utilizó una cinta diamétrica, se midió los individuo con un DAP mayor a 10cm a 1,30m desde el nivel medio del suelo.

3.4.1.2 Diámetro de copa

Para el diámetro de copa se utilizó una cinta métrica y se midió haciendo una proyección desde la parte más saliente de la copa en forma de cruz.

3.4.1.3 *Altura total*

Se midió la altura total desde el nivel del suelo, hasta el ápice del árbol, se utilizó el clinómetro suunto



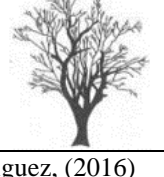
3.4.1.4 *Altura de copa*

Se midió desde el inicio de copa hasta la parte final del árbol con la ayuda de un clinómetro suunto.

3.4.1.5 *Estado fitosanitario*

Se evaluó el estado fitosanitario, así como el estado en el que se encontraron teniendo en cuenta la condición de la copa, fuste y ramificación de cada árbol y se clasificó en las siguientes categorías:

Tabla 2. *Estado del árbol*

Categoría del Árbol	Estado	Calificación
	Sano	1
	Dañado	2
	Enfermo	3

Fuente: Domínguez, (2016)

3.4.2. Extracción de muestra del fuste.

Se extrajo con la ayuda del barreno de pressler una muestra del fuste, a la altura del pecho para una mayor estabilidad, el proceso de extracción se realizó de forma perpendicular del barreno con el fuste, previo a la extracción se retiró la corteza del fuste, seguidamente se procedió a introducir moviendo la manivela en forma circular hasta que se hayan enroscado completamente y contribuya al proceso de extracción. Dicha muestra se colocó en un sobre de aproximadamente 7 cm de longitud y se selló con cinta scotch para evitar la pérdida de agua, así mismo se codificó para luego ser llevado al Laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca de la UTN.

- **Medición de muestras:** se retiró de los paquetes las muestras y se midió con la ayuda del pie de rey tanto el diámetro y la longitud expresados en milímetros.
- **Peso de la muestra:** una vez medido cada uno de las muestras se procedió a pesar cada uno de estos con la balanza de precisión obteniendo el peso inicial, posteriormente se colocó en nuevos sobres las cuales fueron codificados, para ser llevarlos al horno a una de temperatura de 105 °C, cada muestra se pesó cada 24 horas hasta obtener un peso constante.

3.4.3 Abundancia relativa

Tras realizar el censo forestal con los datos obtenidos se procedió a calcular la abundancia relativa en la zona urbana (avenidas), esto se obtuvo mediante la fórmula.

$$Ai = \frac{n}{N} \times 100$$

Fuente: (MINAM, 2015)

Ec. (1)

Donde:

Ai: Abundancia relativa

n: El número de individuos de la especie

N: El número total de individuos

3.4.4 Densidad básica de las especies identificadas en el arbolado urbano.

Para este caso se utilizó el método no destructivo, con las datos obtenidos en el Laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca se calculó el volumen en verde de las muestras del fuste, para lo cual se utilizó la fórmula

$$Vv = \frac{\pi \cdot D^2 L}{4}$$

Ec. (2)

Fuente: (Rügnitz, Chacón, & Porro, 2009)

Dónde:

Vv: Volumen verde

L: longitud total de la muestra

D: diámetro

Una vez obtenido el volumen en verde de la muestra se utilizó la siguiente ecuación para calcular la densidad básica de cada especie identificada en el censo.

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

Ec. (3)

Fuente: (Rügnitz, Chacón, & Porro, 2009)

3.4.5 Área Basal

Con los parámetros dasométricos se determinó el área basal de cada especie con la siguiente fórmula.

$$AB = \frac{\pi}{4} \times D^2$$

Ec. (4)

Fuente: (MINAM, 2015)

Donde:

AB = Área basal

D = Diámetro del árbol

π = Pi (3,1416)

3.4.6 Volumen

El volumen se determinó a partir del área basal, aplicando la siguiente fórmula para cada árbol.

$$V = AB \times h \times ff$$

Ec. (5)

Fuente: (MAE, 2015)

Donde:

V= volumen en pie (m³)

AB= área basal

h= altura total

ff= factor de forma (0.7)

3.4.7 Biomasa del Fuste

Una vez establecido la densidad básica de cada especie dentro del censo se calculó la biomasa del fuste con la siguiente fórmula:

$$Bf = V \cdot Db$$

Ec. (6)

Fuente: (Rodríguez L. A., 2016)

Donde:

Bf = Biomasa del fuste

V = Volumen del fuste

Db= Densidad básica

3.4.8 Biomasa Aérea

Para el cálculo de la biomasa aérea, se utilizó la fórmula general establecida por el IPCC.

$$Ba = V \cdot Db \cdot FEB$$

Ec. (7)

Fuente: (Quiceno & Tangarife, 2016)

Donde:

Ba = Biomasa aérea.

V = Sumatoria del volumen de todas las especies.

Db = Densidad básica.

FEB = Factor de expansión de biomasa.(1,64) factor utilizado en estudios de arbolado urbano en el sur de la ciudad de Guantánamo por (Rodríguez Y. , 2018)

3.4.9 Biomasa de raíces

Para la determinación de la biomasa de raíces, se empleó la siguiente formula con la utilización del resultado de la ecuación 7.

$$Br=Ba \cdot 0.30$$

Ec. (8)

Fuente: (Rodríguez L. A., 2016)

Donde:

Br = Biomasa de las raíces.

Ba = Biomasa de la parte aérea del árbol.

0.30, valor por defecto utilizado para el cálculo de carbono de raíces en el estudio de arbolado urbano por (Rodríguez Y. , 2018)

3.4.10 Biomasa de palmeras

Para el cálculo de la biomasa de palmeras, se utilizó la siguiente ecuación.

$$B_{\text{palm}} = (\exp(0,9285 \times \ln(D^2) + 5,7236) \times 1,050/103)/1000$$

Ec. (9)

Fuente: (Huohes, 1997)

Donde:

B_{palm} =Biomasa de palmera

D= diámetro altura del pecho (cm)

ln=logaritmo natural

3.4.11 Captura de carbono

$$\Delta CBA = (BA * CF)$$

Ec. (10)

Fuente: (Rügnitz, Chacón, & Porro, 2009)

Donde:

ΔCBA : Cantidad de carbono en la biomasa aérea (t C/AT)

BA: Biomasa aérea T M.S / AT

CF: Fracción de carbonemio (tC/t M.S). el valor estándar del IPCC para CF = 0,5

3.4.12 Emisiones de CO₂

Para estimar las emisiones de los contaminantes emitidos por el parque automotor, se empleó la metodología establecida por Racero M, (2006) la cual se plantea en dos fases: siendo la primera estimar las velocidades medias de circulación en la avenidas y la segunda fase está destinada a conocer la composición del parque automovilístico de la zona donde se realiza el estudio.

Se realizó un muestreo en las principales vías de la cabecera del cantón Otavalo, por el transcurso de una semana en lapsos de 15min, en cinco periodos durante el transcurso del día siendo estas 7:00, 9:00 am y 12:00, 15:00, 17:00pm, en donde se evaluó el tipo de vehículo y el tiempo de recorrido.

3.4.12.1 Estimación de la velocidad media

Para determina la velocidad media de circulación por parte del parque automotor se empleó el modelo matemático descrito por (Beckmann citado por Racero M, 2006) que permite cumplir las dos condiciones de Wardrop

$$\text{Min} \sum_{a \in A} \int_0^{f_a}$$

Ec. (11)

Fuente: (Racero M, 2006)

La cual esta sujeta a los siguientes modelos matematicos:

$$\sum_{r \in R_{pq}} h_{pqr} = d_{pq}$$

$$\forall (p, q) \in C$$

Ec. (12)

Fuente: (Racero M, 2006)

$$h_{pqr} \geq 0$$

$$\forall r = R_{pq}, \forall (p, q) \in C$$

Ec. (13)

$$\sum_{(p,q) \in C} \sum_{r \in R_{pq}}^{h_{pqr} \geq 0} \delta_{pqr} a^r h_{pqr} = f_a \quad \forall a \in A \quad \text{Ec. (14)}$$

Fuente: (Racero M, 2006)

Donde A es el conjunto calles o arcos definidos en la red de vias, C es un conjunto de pares origen y destino de viajes es decir la matriz de demanda de transporte, t_a es función que describe el tiempo de viaje para cada calle del viario, h_{pqr} el flujo que circula por la ruta r que conecta el par $(p, q) \in C$, d_{pq} es la demanda para cada par $\forall (p, q) \in C$ y δ_{pqr} un parámetro que indica si un arco pertenece a la ruta que conecta el par $(p, q) \in C$. La función (Ec.11) busca minimizar el tiempo total de viaje en todos los tramos del viario, las restricciones asociadas al modelo imponen (Ec.12) que los viajes que discurren en cada ruta que conecta dos puntos del viario están asociado a la demanda de viajes entre esos dos puntos. Por último se imponen la no negatividad (Ec.13) de las variables asociadas a los viajes de las rutas que conectan dos puntos y (Ec.14) la expresión que determina el número de viajes que transcurre por cada tramo.

La resolución del modelo está basada en un procedimiento interactivo de cálculo de rutas mínimas, entre cada par $(p, q) \in C$, y reparto de viajes entre ellas. partir de las intensidades de tráfico aplicadas a las funciones que describen el tiempo de viaje en cada calle, t_a , se obtiene las velocidades medias de circulación en cada calle del viario en un intervalo horario.

3.4.12.2 Análisis y clasificación del parque automovilístico

Para este punto se tomó en cuenta el muestreo realizado del parque automotor, donde se procedió a clasificar los vehículos muestreados atiendo a criterios como: turismos a gasolina y diésel, vehículos ligeros y pesados, autobuses y motocicletas. De tal manera que se pueda disponer de un árbol de porcentajes para cada una de las categorías de vehículos.

A su vez los vehículos se subclasificaron en categorías asociadas al cilindraje, además de la tecnología empleada en diferentes periodos de vigencia, que aparecieron desde el año 1970 (European Environment Agency, 2019).

Tabla 3. Guía de clasificación vehicular

Tipo de vehículo	Subcategoría	Tecnología	Aplicación de la tecnología
Turismo Gasolina	< 1,4 l	Anterior a Euro 1	1985
	1,4 l-2,0 l		
	> 2,0 l	Posterior a Euro 1	1993
Turismos Diésel	<2,0 l	Anterior a Euro 1	Hasta 1992
	>2,0 l	Euro 1	1993
		Euro 2	1997
Turismos Híbridos		Euro 3	2000
		Euro 4	2005
	1,4 - 2,0 l		
Ligeros Gasolina	<3,5 t	Anterior a Euro 1	Hasta 1992
		Euro 1 y posteriores	1993
Ligeros Diésel	<3,5 t	Anterior a Euro 1	Hasta 1992
		Euro 1 y posteriores	1993
			1992
Camiones Diésel	<=7,5 t	Anterior a Euro 1	
	7,5-16 t		
	16 -32 t		
	>32 t	Euro 1 y posteriores	1988
Automotores Diésel	Estándar >= 18 t	Anterior a Euro 1	1992
	Articulados > 18t	Euro 1 y posteriores	Hasta 1998
Ciclomotores	<50cm ³	Anterior a Euro 1	1999
		Euro 1	2002
		Euro 2	Hasta 1998
Motocicletas	2 Tiempos > 50cm ³	Anterior a Euro 1	1999
	4 Tiempos > 250cm ³	Euro 1	2003
	4 tiempos 250 - 750cm ³	Euro 2	2006
	4 Tiempos > 750cm ³	Euro 3	2006

Fuente: Guía Práctica para el cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

3.4.12.3 Factores de emisión

Para cada categoría de vehículo, existe un factor de emisión que será el aplicado a cada vehículo identificado en el proceso de muestreo. Para lo cual con la clasificación previa se procedió a establecer en función de la velocidad y tipo de vehículo el factor de emisión pertinente para cada clase de automotor.

Tabla 4. Factores de emisión de CO2

Tipo de vehículo	Subcategoría	Rango de velocidad(km h-1)	Función/factor de misión
Pre-ECE	Todas	10 -100	$281V^{-0.630}$
		100-130	$0,112V+4,32$
ECE 15/00 y 01	Todas	10-50	$313V^{-0.760}$
		50 – 130	$27,22-0,406C+0,0032V^2$
ECE 15/02	Todas	10-60	$300V^{-0.797}$
		60 – 130	$26,26-0,440V+0,0026V^2$
ECE 15/03	Todas	10 - 19.3	$161,36-45,62\ln(V)$
		19.3 – 130	$37,92-0,680V+0,00377V^2$
ECE 15/04	Todas	10-60	$260,788V^{-0.910}$
		60 – 130	$14,653-0,22V+0,00116386V^2$
Sin catalizador	< 1,4 l	10 – 130	$14,577-0,294V+0,002478V^2$
	1,4-2,0l	10 – 130	$8,273-0,1511V+0,000957V^2$
Catalizador de Oxidación	<1,4l	10 – 130	$17,882-0.3377V+0,002825V^2$
	1,4-2,0l	10 – 130	$9,446-0,23012V+0,002029V^2$
Catalizador de tres vías	>2,0l		$2,913-0,085V+0,000873V^2$
Euro I (91/441/EEC)	<1,4l	5 – 130	$9,846-0,2867V+0,0022V^2$
	1,4-2,0l	5 – 130	$9,617-0,245V+0,0017285V^2$
	>2,0l	5 – 130	$12,826-0,2955V+0,00177V^2$
Euro II (91/94/EC)	<1,4l	5 – 130	68% del correspondiente Euro I
	1,4-2,0l	5 – 130	68% del correspondiente Euro I
	>2,0l	5 – 130	68% del correspondiente Euro I
Turismo diésel	Todas	10 – 130	$5,41301V^{-0.574}$
Camiones gasolina >3,5t		Urbano	$70g\ Km^{-1}$
		Autopista	$55g\ Km^{-1}$
		Carretera	$55g\ Km^{-1}$
Camiones ligero a diésel < 3,5t		10-100	$20E-05V^2-0,0256V+1,8281$
Camiones pesados entre 3,5 - 7,5t		0-100	$37,280V^{-0.6945}$
Camiones pesados entre 7,5-16t		0-100	$37,280V^{-0.6945}$
Camiones pesados >16t		0-100	$37,280V^{-0.6945}$
Motocicletas	<50cc		$15g\ Km^{-1}$
	>50cc 2t	10-60	$0,0001V^2+0,1720V+18,1$
	>50cc 2t	60 – 110	$0,0001V^2+0,05V+21,5$
	>50cc 4t	10-60	$0,01930V^2-1,92V+68,3$
	>50cc 4t	60 – 110	$0.0017V^2+0,121V+9,5$

Fuente: (Racero M, 2006)

3.4.12.4 Emisiones por periodo de tiempo

Para determinar las emisiones se utilizó los datos obtenidos previamente y la utilización de la formula siguiente.

$$E_{pt} = Fe * Nv * Km_v$$

Ec. (15)

Fuente: (Racero M, 2006)

Donde:

E_{pt} = Emisiones por periodo de tiempo

Fe = Factor de emisión

Nv = Número de vehículos

Km_v = Kilometraje por vehículo por periodo de tiempo o velocidad media.

3.4.13 Establecer la relación existente entre la emisión y el almacenamiento de carbono

Una vez conocido los parámetros cuantitativos del arbolado urbano y del parque automotor en las vías evaluadas, se realizó análisis de correlación de Pearson.

$$r = \frac{C_{xy}}{\sqrt{S_1^2 \times S_2^2}}$$

Ec. (16)

Fuente: (Aguirre & Vizcaíno, 2010).

Donde

r: coeficiente de correlación

C_{xy} : covarianza

S_2 : varianzas de las variables 1 y 2

Las variables a ser correlacionadas son:

- Número de árboles vs número de vehículos
- Contenido de carbono vs emisiones
- Número de árboles vs emisiones

3.4.14 Análisis estadístico

Este parámetro se realizó con base a las medidas estadísticas centrales y de dispersión (media, desviación estándar, error estándar de la media, coeficiente de variación) citados por (Aguirre & Vizcaíno, 2010).

Tabla 5. Ecuaciones estadísticas

Medidas estadísticas	Ecuación
Medida	$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$
Varianza	$s^2 = \frac{\sum x^2 - (\sum x)^2 / n}{n - 1}$
Desviación Estándar	$s = \sqrt{s^2}$
Coeficiente de variación	$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100$
Error estándar de la media	$S\bar{x} = \sqrt{\frac{s^2}{n}}$

Fuente: (Aguirre & Vizcaíno, 2010).

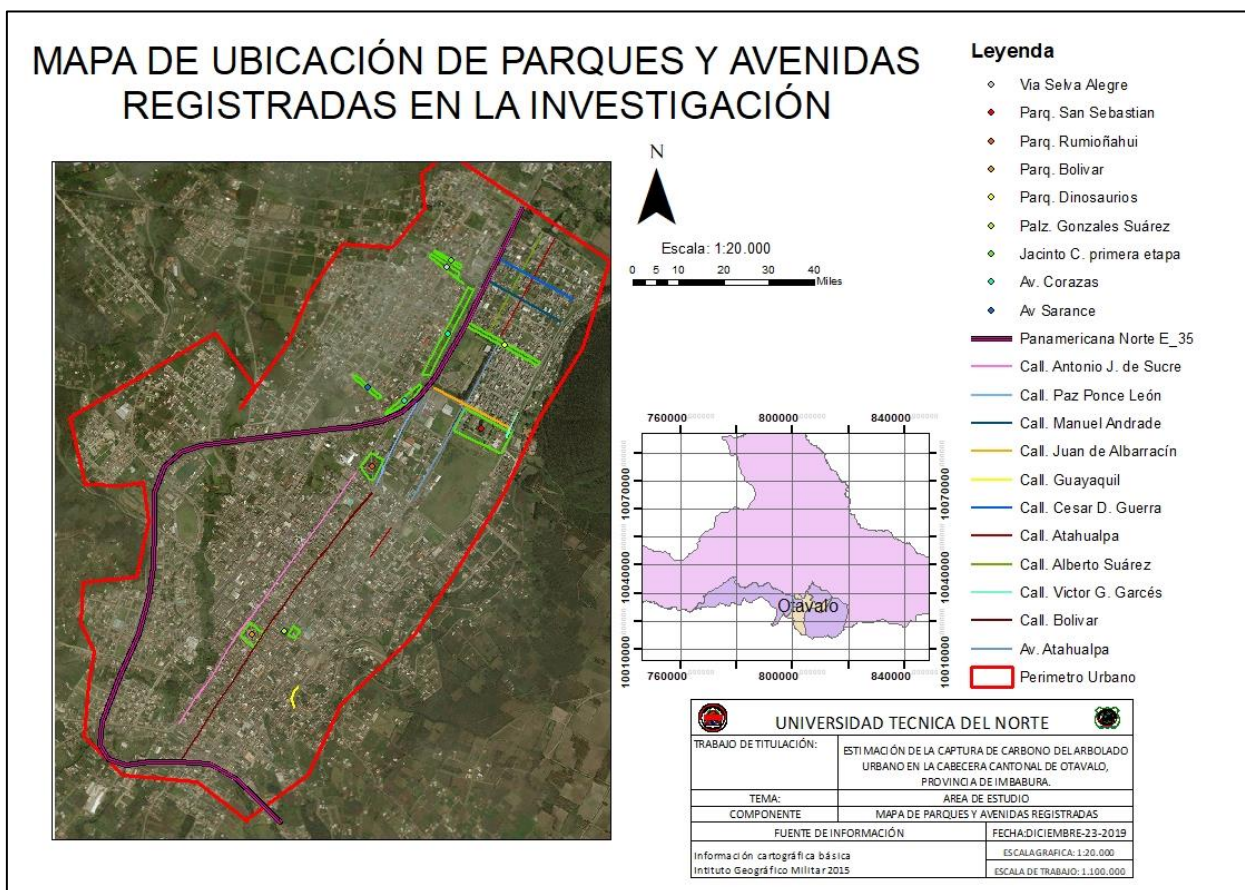
CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización del arbolado urbano

4.1.1 Sitios evaluados en el casco urbano

Se evaluó un total de 21 sitios arbolados entre avenidas, calles y parques; distribuidos en la cabecera cantonal de Otavalo, con un correspondiente de cinco parques, cuatro avenidas y doce calles, mismas que poseen gran cobertura vegetal y una afluencia de tráfico alta.



Figuras 2. Mapa de ubicación de parques y avenidas registradas en la investigación

4.1.2 Censo

En el cantón Otavalo se registró un total de 1 222 árboles dentro de parques, avenidas y calles de la zona, de los cuales se identificó 17 familias, 34 especies, siendo el parque San Sebastián el lugar con mayor presencia de individuos con un total de 174 ejemplares. En tanto en el componente viario, la avenida y calle Atahualpa suman un total de 214 individuos dado que comparte un mismo trayecto. En cuanto al resto de sectores se detallan en la tabla 6.

Tabla 6. *Lugares censados*

Lugar	Familia	Genero	Individuos
Calle Alberto Suárez Dávila	3	3	71
Av. Atahualpa	9	11	151
Av. de los Corazas	8	8	34
Calle Atahualpa	3	3	63
Calle Bolívar	3	3	63
Calle de los Sarances	6	8	23
Calle Guayaquil	6	8	16
Calle Sucre	1	1	109
Calle Cesar Dávila Guerra	2	2	12
Jacinto Collahuazo Primera Etapa	4	6	24
Calle Juan de Albarracín	1	1	47
Calle Manuel Andrade	2	2	11
Av. Pana Norte	6	7	40
Parque Bolívar	8	12	53
Parque de los Dinosaurios	2	2	106
Parque Rumiñahui	11	14	104
Parque San Sebastián	12	16	172
Calle Paz Ponce de León	9	11	72
Plazoleta Gonzales Suarez	7	10	18
Av. Vía Selva Alegre	3	3	6
Calle Víctor G. Garcés	2	2	27
Suma	17	34	1222

4.1.3 Especies

Para la realización de inventario, se tomó en cuenta los parámetros familia y especie, los cuales se detallan en la tabla 7; donde resalta la familia Fabaceae con una presencia de cinco especies

identificadas, sin embargo; el porcentaje de abundancia de los especies de la familia es relativamente bajo, mientras las variedades más sobresaliente fueron “*Ficus benjamina*” con una presencia del 15% seguido por el género “*Trachycarpus sp.*” con un 12,60% de abundancia relativa, de la misma manera se puede evidenciar que el 59% de especies son exóticas y un 41% de especies nativas (Anexo tabla 10).

Tabla 7. Familias y especies del inventario urbano

Familia	Especies	N árboles	Porcentaje
Adoxaceae	<i>Sambucus nigra.</i>	2	0,16
Agavaceae	<i>Yucca aeolifolia</i>	49	4,01
Anacardaceae	<i>Schinus molle.</i>	49	4,01
Arecaceae	<i>Parajubaea cocoides.</i>	12	0,98
	<i>Phoenix sp.</i>	25	2,05
	<i>Trachycarpus sp.</i>	154	12,60
Bignonaceae	<i>Chionanthus pubescens</i>	37	3,03
	<i>Delostoma sp.</i>	13	1,06
	<i>Jacaranda mimosifolia.</i>	18	1,47
	<i>Tecoma stans.</i>	46	3,76
Cupresaceae	<i>Cupresus macrocarpa</i>	24	1,96
Fabaceae	<i>Acacia baileyana</i>	2	0,16
	<i>Acacia melanoxylon</i>	65	5,32
	<i>Caesalpinia spinosa</i>	11	0,90
	<i>Leucaena sp.</i>	1	0,08
	<i>Senna sp.</i>	3	0,25
Magnoliaceae	<i>Magnolia grandiflora.</i>	6	0,49
Malvaceae	<i>Ceiba sp.</i>	17	1,39
	<i>Hibiscus sp.</i>	8	0,65
Moraceae	<i>Ficus benjamina</i>	186	15,22
	<i>Morus alba.</i>	13	1,06
Myrtaceae	<i>Callistemon citrinus</i>	121	9,90
	<i>Callistemon pallidus</i>	79	6,46
	<i>Myrcianthes sp.</i>	25	2,05
Olanaceae	<i>Fraxinus excelsior</i>	53	4,34
Pittosporaceae	<i>Pittosporum undulatum</i>	6	0,49
Platanaceae	<i>Platanus acerifolia</i>	5	0,41
Proteaceae	<i>Grevillea sp.</i>	22	1,80
Rosaceae	<i>Eriobotrya sp.</i>	6	0,49
	<i>Polylepys rasemosa.</i>	3	0,25
	<i>Prunus salicifolia</i>	11	0,90
Salicaceae	<i>Dovyalis abyssinica</i>	9	0,74
	<i>Populus alba</i>	133	10,88
	<i>Salix sp</i>	8	0,65

Tito ,(2019) en el cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura, en el arbolado urbano registró 19 familias y 32 especies con 671 individuos. Dentro de dicho estudio resalta la presencia de las familias Myrtaceae, Bignoniaceae, Arecaceae, Fabaceae, Salicaceae, Moraceae y Oleaceae las cuales se encontraron mayormente en este estudio.

En el estudio realizado por Hernández (2014) se identificaron ocho familias, catorce especies con un total de 2204 individuos dentro de los cuales resaltan la presencia de *Ligustrum lucidum* con el 36,12% siendo la especie con mayor número seguido de *Cupresus lusitánica*, lo que representa el 31,72%. Cabe mencionar la existencia de especies como *Populus alba*, *Schinus molle* y *Fraxinus uhdei*.

Domínguez & Madrid, (2016) por otra parte en su estudio, resalta la existencia de *Ficus benjamina* 21%, *Schinus molle* 11,5%, *Fraxinus sp.* 5,3%, *Casuarina equisetifolia* 4,3% y *Yucca guatemalensis* 2,5% de un total de 68 especies encontradas.

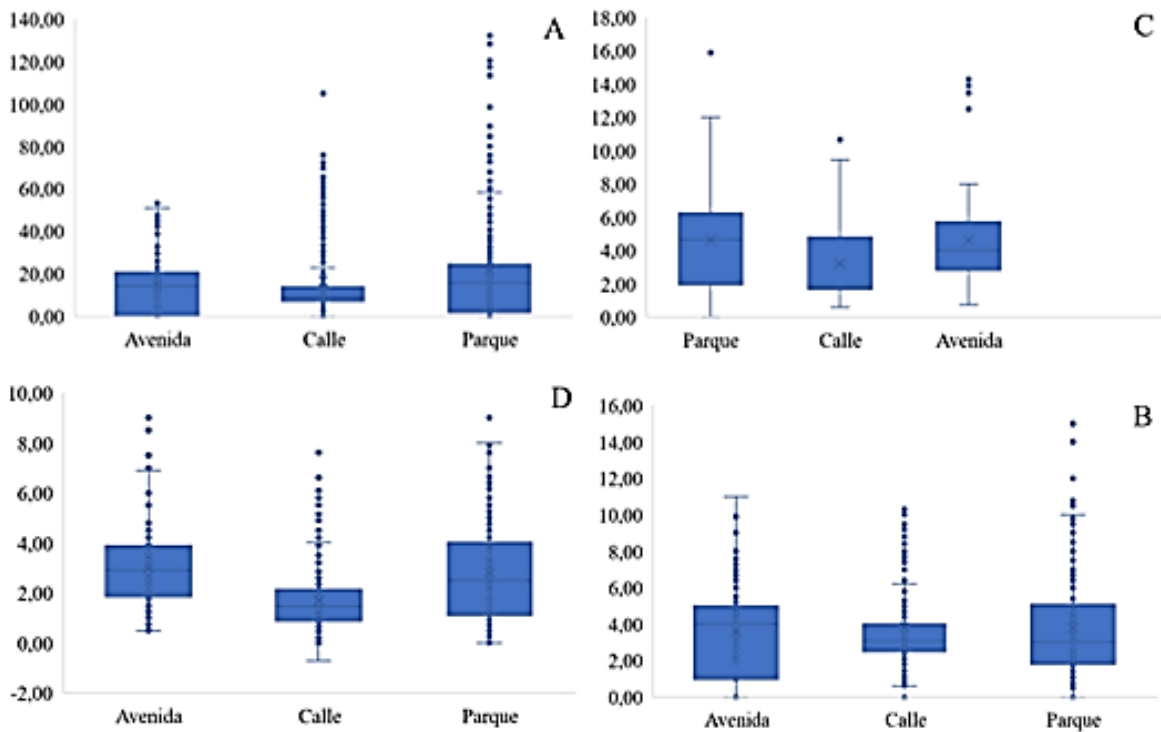
Correa & De la Barrer (2017) en su investigación resalta la presencia de *Fraxinus americana* como la especie que resalta mayormente, con el 15% seguido de *Platanus orientalis*, con un 14,0% de abundancia relativa y *Platanus rzedowskii* con el 3,61% de las 129 especies registradas.

Familias como Bignonaceae, Fabaceae, Cupresaceae, y Olanaceae son mayormente utilizadas en la reforestación y generación de áreas verdes dentro de la urbe. Mientras a nivel géneros, existe mayor predominancia de *Fraxinus*, *Cupresus*, *Tecoma*, *Schinus* y *Ficus*; si bien los casos citados no presentan la mismas especies pero comparten similitud a nivel de género.

Por otra parte en el estudio realizado por Domínguez y Madrid, (2016) señala a la especie de *Ficus benjamina* con un 21% de abundancia relativa, un dato similar al obtenido en el presente trabajo; sin embargo, estudios tanto realizados fuera y dentro del país, no presentan este resultado. Tito (2019) presenta un 3% para esta especie, a su vez Gallo (2017) en su investigación en el departamento de Sucre, presenta una abundancia relativa para *Ficus benjamina* del 3%. De la misma manera la gran mayoría de estudios referentes al tema, se omiten la evaluación de Palmeras.

4.1.4 Parámetros Dasométricos

Dentro de los parámetros dasométricos, se evaluaron las variables Dap, altura total, diámetro de copa y altura de copa. En la (Figura 3) se puede observar las diferencias que existe dentro de las variables, dependiendo del sitio evaluado; para lo cual se clasificaron los lugares censado en tres tipos: calles, avenidas y parques. Cómo se puede evidenciar, existe heterogeneidad en todas las variables en los parques y ligeramente en las avenidas, mientras las calle son los lugares donde mayor homogeneidad se puede evidenciar; esto se debe a la presencia de manejo estético en el área como son las podas, que mantienen la altura total así como también la altura y diámetro copa a un nivel igualitario.



A= DAP; B= Altura total; C=Diámetro de copa; D= Altura de copa

Figuras 3. Caracterización dasométrica del arbolado urbano

Tito (2019) en su estudio de arbolado urbano, señala la necesidad de realizar trabajos de manejo, principalmente en las vías donde detalla la altura de 6,57 m para el campo automotriz y 6,67 m para el campo peatonal.

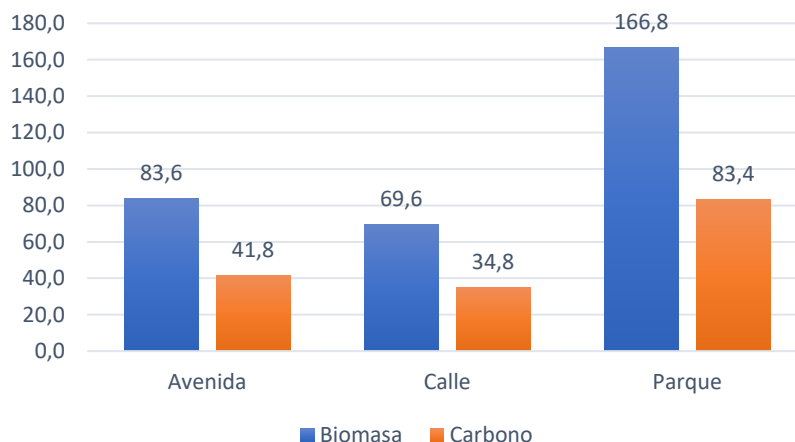
Por su parte Selga (2010) menciona en su estudio de Plan Director de Arbolado Viario de Alcorcón una altura mínima de 2,25 m para peatones y 4,5 m para el campo automotriz. De tal manera es comprensible los trabajos realizados dentro del sitios como calles y avenidas, donde se mantiene la altura y diámetro de copa controlado por lo tanto, la homogeneidad que presentan estos parámetros dentro de la cobertura vegetal urbana son iguales. No obstante cabe mencionar la importancia que resalta Selga (2010) del manejo de áreas verdes para el campo peatonal en proyección de altura, donde menciona el inconveniente que puede presentar una altura menor para las personas no videntes.

Por otra parte en el trabajo realizado por Castillo y Ferro, (2015) resalta la cuidadosa selección de las especies, previene futuros conflictos entre el desarrollo normal de las mismas y los espacios construidos. Además garantiza una vida más prolongada a las plantas, menores esfuerzos de mantenimiento y mayor cumplimiento de beneficios. De tal manera como señala Sánchez, (2013) no es aconsejable, plantar árboles en aceras con una anchura inferior a los 3-4 m y a su vez en el caso de alineaciones urbanas las especies plantadas, deberían estar en una separación entre 4-5 m.

4.2 Biomasa

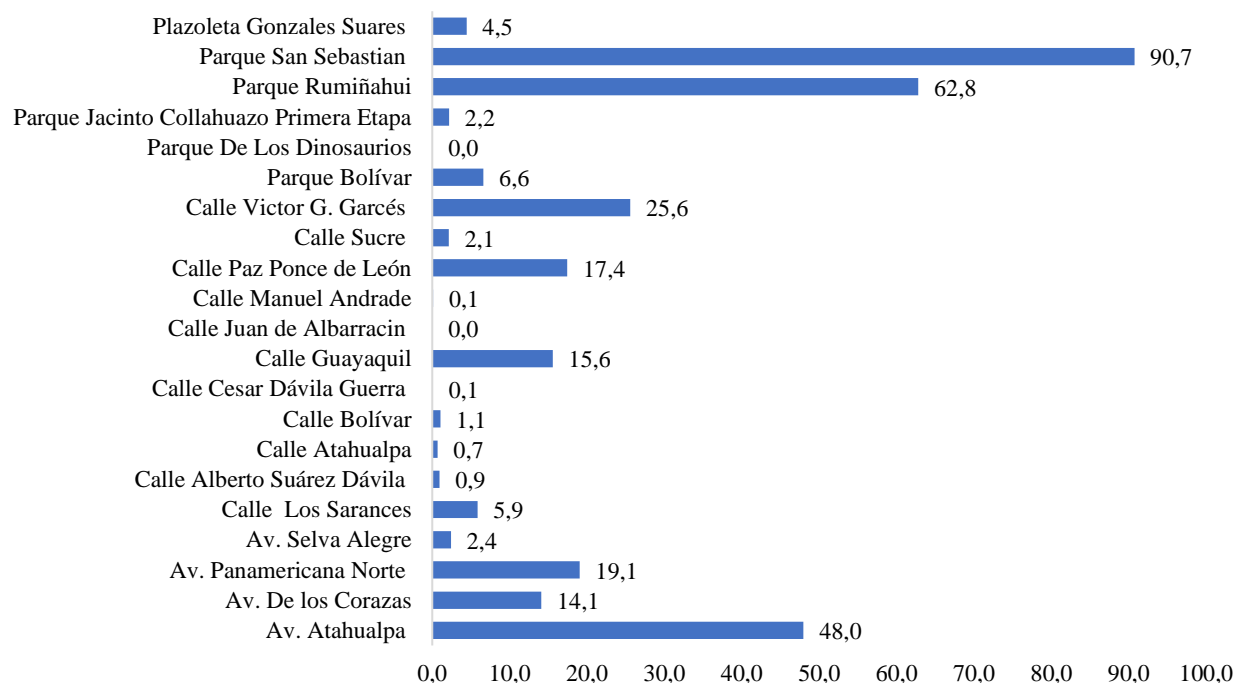
4.2.1 Estimación de biomasa y carbono por sitio evaluado

De los tres tipos de sitios evaluados, se estima un total de 319,94 Ton de biomasa con un resultado de 159,972 Ton de carbono almacenado. De lo cual los parques de la urbe por su concentración de individuos y mayor diversidad de especies, contienen el mayor porcentaje de biomasa y carbono almacenado con un equivalente de 166,83 y 83,41 Ton respectivamente. Seguido de las principales avenidas presentes dentro del casco urbano. Por su parte las calles presentan el menor porcentaje de carbono almacenado, como se puede evidenciar en la (*Figura 4.*)



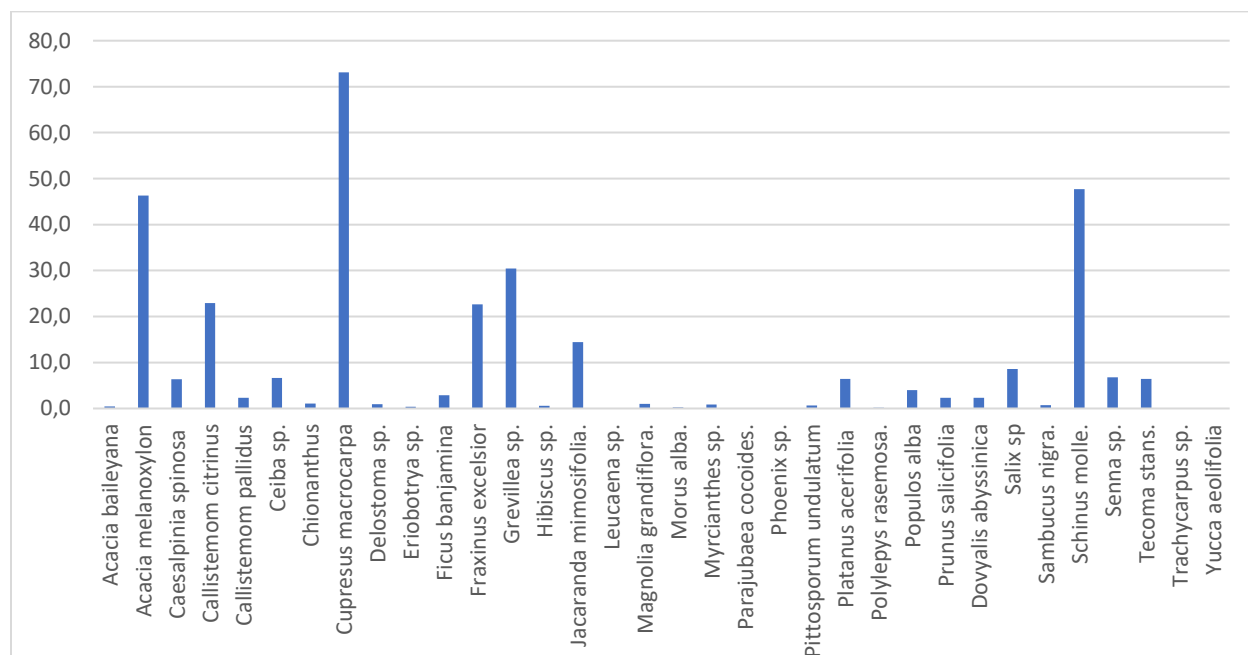
Figuras 4. Estimación de biomasa y carbono por tipo de sitio

De los 21 lugares censados en el casco urbano de la ciudad de Otavalo, se determinó al parque San Sebastián como el lugar con mayor cantidad de biomasa, en la urbe con un apreciado de 90,74 Ton, seguido del parque Rumiñahui 62,81 Ton y de la Av. Atahualpa con 48,0 Ton. Mientras que la calle Bolívar presenta el menor porcentaje de biomasa 1,1 Ton. El resto de lugares se detallan en la (Figura. 5).



Figuras 5. Estimación de biomasa por lugar

Por otra parte la (Figura 6) detalla de las 34 especies identificadas a *Acacia melanoxylon*, *Cupresus macrocarpa* y *Schinus molle* las de mayor generación de biomasa, seguido de las especies, *Grevillea sp.* y *Fraxinus excelsior*. De igual manera se puede denotar que la mayor cantidad de biomasa, la generan especies exóticas tale como *Cupresus macrocarpa*, *Grevillea sp.* entre otras.



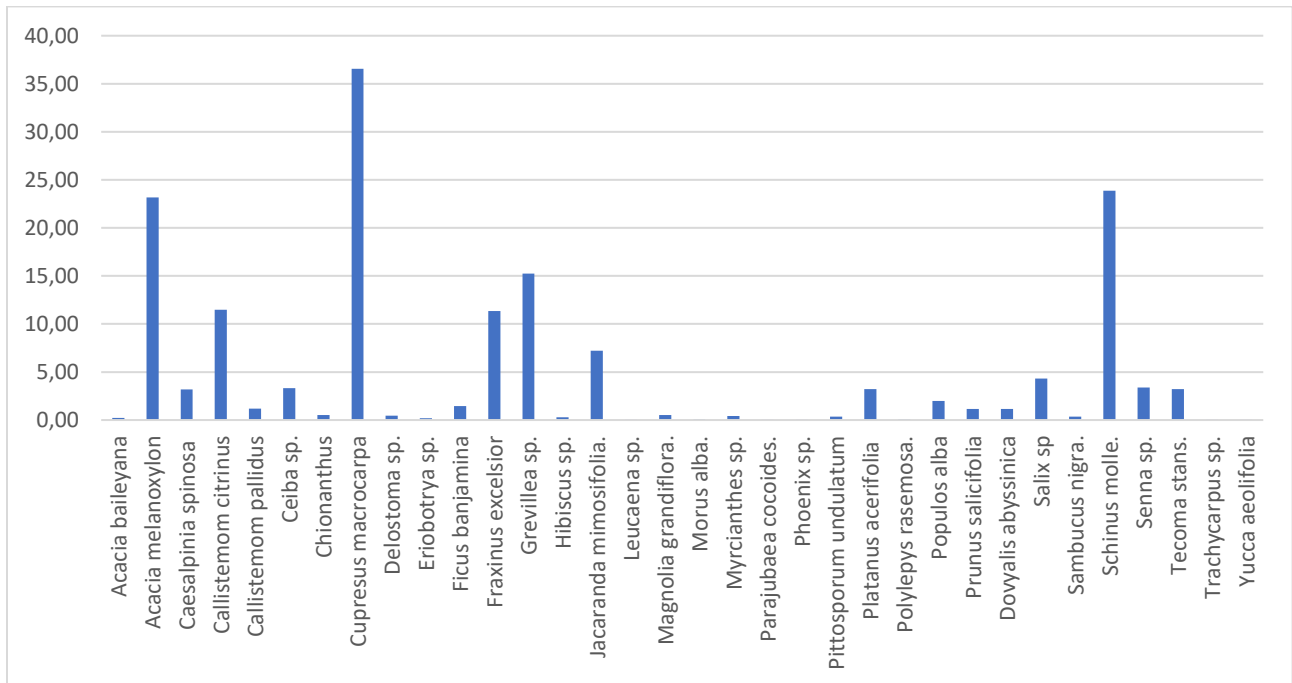
Figuras 6. Estimación de biomasa por especie.

4.3 Carbono

4.3.1 Estimación del carbono captura por el arbolado urbano

Se determinó un total de 1222 árboles muestreados en la presente investigación, los mismos que generan una captura de CO₂ de 159,97 Ton. De las 34 especies registradas, cinco especies presenta la mayor cantidad de carbono capturado; *Cupresus macrocarpa*, *Acacia melanoxylon*, *Schinus molle*, *Grevillea sp.* y *Fraxinus excelsior*, con un estimado de 36,55; 23,17; 23,86; 15,23 y 11,33 Ton respectivamente. De la misma manera cabe señalar el carbono retenido representa el 50% de la biomasa obtenida (Figura 7) a su vez es importante señalar la capacidad para almacenar

carbono, que tienen las especies con relación a su densidad básica, por lo cual especies de densidad media, tiende a captar mayor cantidad de CO₂.



Figuras 7. Carbono capturado por especie

Estudios referentes a la captura de carbono en áreas urbanas señalan el potencial del arbolado urbano como sumideros de carbono, según indica Acosta, (2013). Un bosque urbano puede almacenar hasta 3,2 toneladas de carbono. Por su parte estudios similares aluden a géneros de rápido crecimiento, son especies con mejor retención de CO₂ (Garcia & Cantillo, 2015).

Si bien dentro del estudio *Cupresus macrocarpa*, es la especie que ha captado mayor cantidad de CO₂, no es la mejor; dado que su comportamiento es muy heterogéneo, lo cual se puede evidenciar en el anexo (Figura 14) siendo dos ejemplares que sobresalen sobre todos los individuos por sus características diamétricas y de altura. Sin embargo, el resto de individuos de esta, especie mantiene un potencial de carbono almacenado más bajo, que puede estar a la par con el potencial de *Schinus molle*, lo cual se contrapone con el estudio presentado por (Hernández P. , 2014) donde *Cupresus macrocarpa* presenta 34,68 Ton, mientras que *Schinus molle* pese a tener menor número de individuos, presenta mayor almacenaje de carbono con 120,40 Toneladas.

De igual manera Chamorro & Falconi, (2019) mencionan en su estudio en tres diferentes distritos del Perú a *Fraxinus americana* L. con 350 individuos y 92,08 Ton de carbono almacenado y *Pinus radiata* D.Don. 125 individuos y 77.67 toneladas de carbono como las especies más representativas en cuanto al secuestro y captura de carbono. Compartiendo mucha similitud con el potencia presentado por *Fraxinus excelsio* en la presente investigación estos se puede deber que *Fraxinus* es uno de los géneros mayormente utilizados en la forestería urbana debido a su comportamiento y desarrollo en este tipo de infraestructura.

Por su parte como *Poupulus alba*, *Ficus banjamina* y *Trachycarpus sp.* si bien presentar una abundancia relativa mayor a las especies antes mencionadas la retención de CO₂ de estas especies es muy baja, esto debido a la densidad baja que presentan estas especies, lo cual se pude deber a que cada especie depende de la cantidad y tipo de elementos celulares que los constituyen, así mismo las propiedades mecánicas y físicas que influyen de manera directa, como también a las condiciones climáticas que prevalece en la región o en el lugar donde crecen y se desarrollan. (Ordóñez Diaz, 2015)

4.4 Emisiones de CO2

4.4.1 Composición del parque automotor

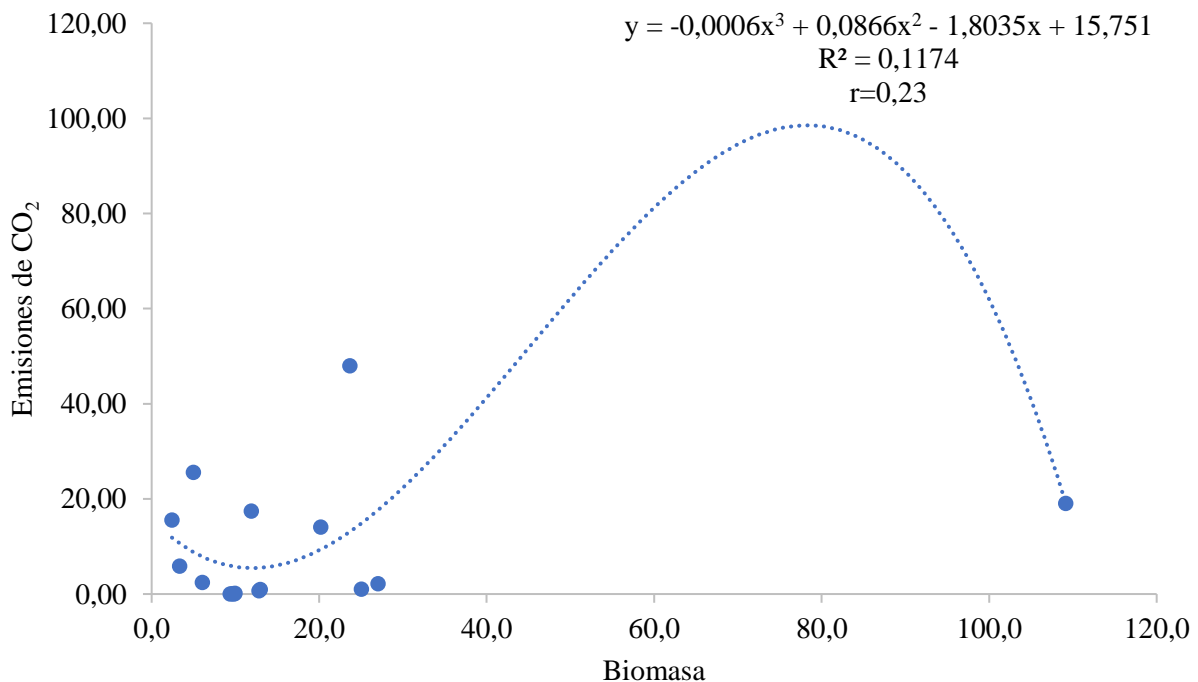
Se muestreo un total de 3236 vehículos dentro de las dos calles con mayor afluencia vehicular tanto de ingreso y egreso de la ciudad. Posteriormente se determinó 34 864 tras la extrapolación en función a la distancia de las principales vías del cantón se estimó un aproximado de vehículos que circulan diariamente en el cantón, siendo la Panamericana norte, debido a su distancia y capacidad de circulación, posee mayor presencia vehicular.

De los 3236 vehículos muestreados que circula dentro de las calles evaluadas, se clasificó el parque automotor bajo los criterios de la EEA, a su vez se estableció una velocidad media de circulación sujeta al equilibrio de tránsito de 19,61 km/h y se estableció un factor de emisión pertinente para cada tipo de vehículo como se puede evidencia en la Tabla 8.

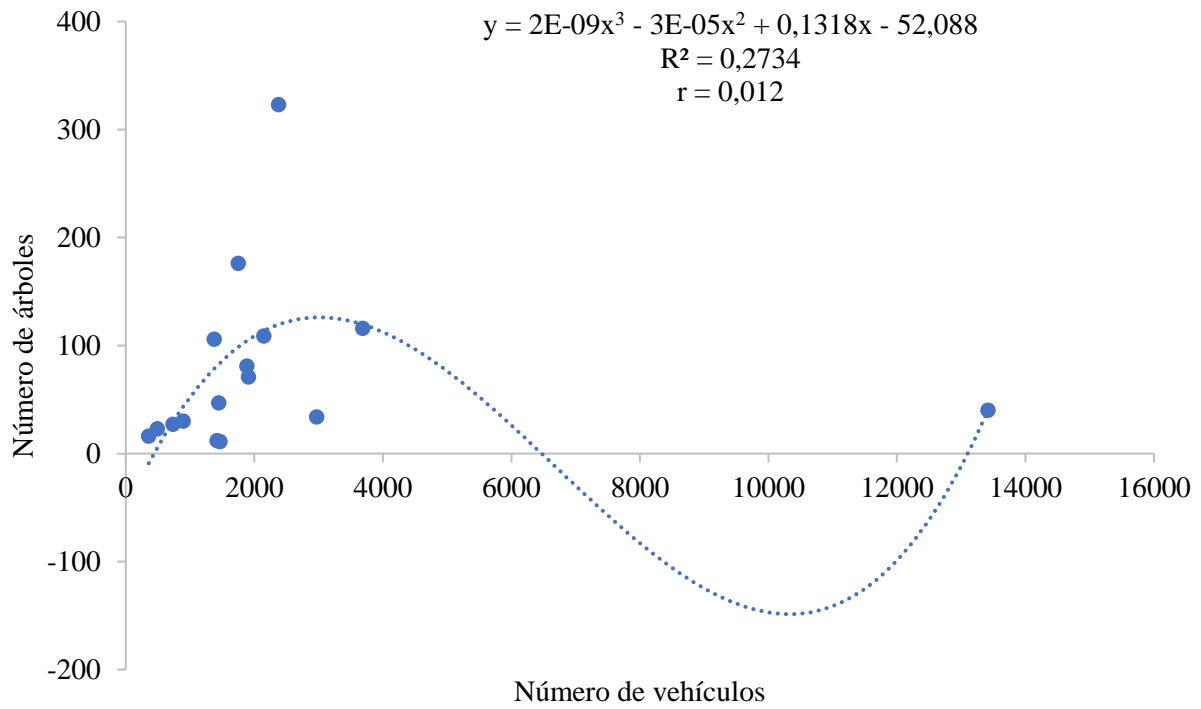
4.5 Correlaciones

4.5.1 Relación de emisión de CO₂, el carbono capturado, número de árboles y vehículos de la urbe.

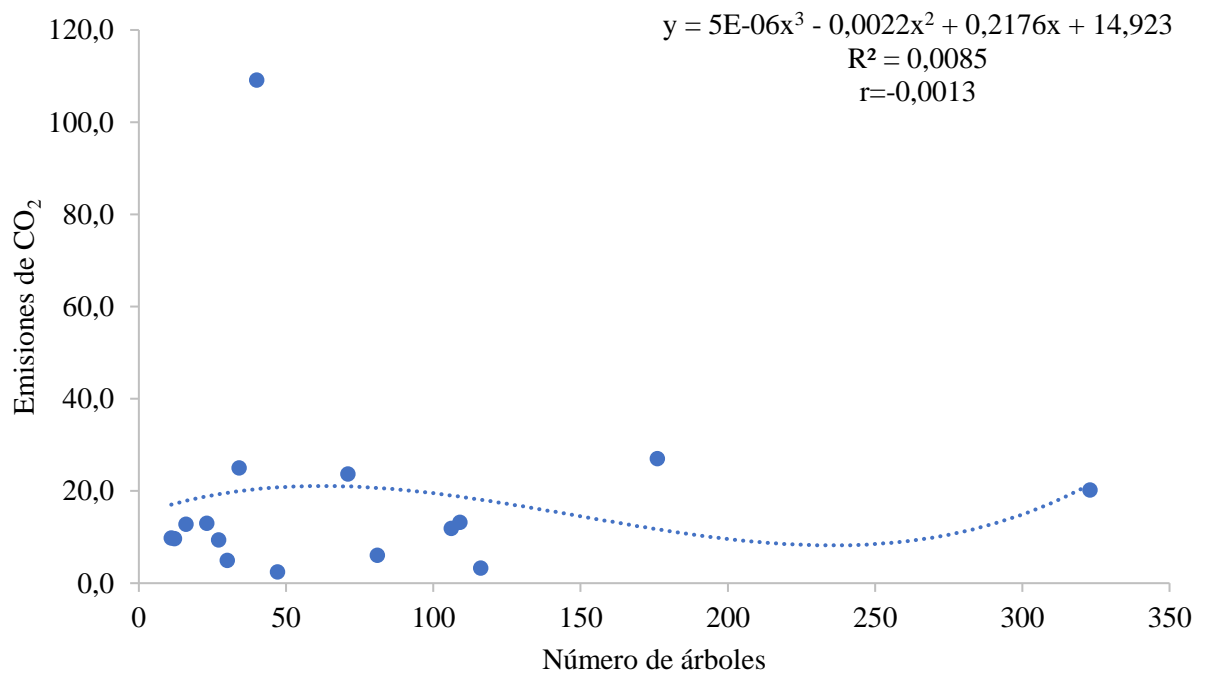
Se realizó tres distintas correlaciones tomando en cuenta las emisión producidas y la biomasa del arbolado urbano, de cual se determinó un coeficiente de relación muy bajo, de tal manera que se puede observar que los datos son muy dispersos y no existe una tendencia de árboles en relación para el número de vehículos, lo cual se puede observar en la (Figura 9). La relación establecida entre las variables de número de árboles y el número de vehículos observada en la (Figura 10) donde es evidencia que no existe una tendencia o relación entre las dos variables dado que existe un mayor número de vehículos que árboles dentro de la urbe. Por otra parte dentro de la (Figura 11) se puede evidenciar que existe una correlación inversa de dentro del número de árboles versus las emisiones, de CO₂ dado que el porcentaje de emisiones tiende a disminuir entre más porcentaje de arbolado urbano exista.



Figuras 9. Relación de emisiones de CO₂ – biomasa



Figuras 10. Número de Vehículos – número de árboles



Figuras 11. Relación de número de árboles – emisiones de CO₂

Domínguez, (2016) en su estudio, estimaciones de captura de los parques y emisiones de CO₂ vehicular en Tijuana, B.C. resalta la situación actual en la que se encuentra la ciudad, dentro del arbolado urbano. Los árboles contribuyen a capturar 3.6 Kg de CO₂/año y cada vehículo emitió en promedio 4,946 Kg de CO₂ durante el 2015 siendo únicamente el 0.08% de las emisiones capturado. Dicho esto, se estimó que sería necesario por cada vehículo que estuvo en circulación durante el 2015, se debía contar con 1 301m² de arbolado en la ciudad de Tijuana para compensar las emisiones de CO₂.

Estudios referentes al índice verde dentro de las provincias y cantones del Ecuador, realizado en el año 2012, señala a Otavalo con un índice verde 10,65m²/h, es decir; un mejor índice verde que el recomendado por OMS (INEC, 2012) no obstante, es un porcentaje que contempla árboles presentes dentro de la urbe, bosques peri urbanos y bosques urbanos, mientras que estudios referentes como los señalados anteriormente toman en cuenta el servicio de áreas verdes como parques y avenidas dados por municipios o distritos.

A su vez el estudio realizado por (Abner Chávez, 2018) en el período de 1980 a 2015, donde determinó 68,19 Ton de CO₂ retenido para el año 1980 mientras para el año 2015, la captura de carbono sufre una reducción a 35,14Ton de CO₂ retenido en un estimado del 51% de reducción en el potencial de secuestro de carbono. Considerando este punto el actual porcentaje de carbono capturado podría verse afectado en años posteriores, si no se plantean acciones pertinentes ante el desarrollo urbanístico

Quiñónez, (2010) señala en su trabajo dentro de un ejercicio hipotético, el porcentaje de árboles necesarios para mitigar las emisiones de carbono en el periodo desde 1930 a 2008 hipotéticamente con tres especies maderables: Siete cueros, Cerezo y Roble. El ejercicio determina que a razón de haberse emitido en este margen de tiempo 510.284,89 toneladas de carbono, se requerirían 2.701.776 individuos arbóreos para llegar a un balance cero y capturar las emisiones hechas hasta el 2008.

Considerando el estudio realizado por Quiñónez, (2010) en el cantón se necesitaría un aproximado de 1055 individuos para contrarrestar las emisiones producto del parque automotor, un porcentaje de árboles menor al del estudio realizado por Quiñonez esto debido que dentro del estudio contempla las emisiones producto de 78 años, mientras los 1055 individuos sugeridos dentro del estudio sería para contrarrestar las emisiones para el año 2019 en el cantón.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- En los parques, avenidas y calles del cabecera cantonal de Otavalo, predomina las especies exóticas en un 59% y nativas el 41 %, siendo la familia Myrtaceae la de mayor presencia con el 18,41% de individuos existentes, a nivel de especie *Ficus banjamina*, tiene el 12,41% de presencia en toda urbe, las especies forestales se encuentran en con un buen estado fitosanitario en un 86% y un 14% en malas condiciones.
- Se llegó a estimar 319,94 Ton de biomasa, generado por el arbolado urbano, en parques, calles y avenidas de la cabecera cantonal de Otavalo, y una captura de 159,97 Ton de CO₂, siendo la especie *Cupresus macrocarpa* quien aporta con el 29% de Ton de CO₂ capturado mientras palmeras contribuyen con el 0,031% de Ton, debido a la densidad baja que presentan las palmeras.
- Se estimó una total de 298,41 Ton de CO₂ emitidas al ambiente por el parque automotor en el cantón y una captura de CO₂ de 159,97 Ton por parte arbolado urbano, con una relación de emisiones versus carbono capturado bajo; siendo las emisiones mayor que el carbono capturado, y se necesitaría 1 055 individuos adicionales para captura el 53% del total emitido al ambiente por parte de parque automotor.

5.2 Recomendaciones

- Ampliar la investigación considerando otros componentes forestales urbanos tales como: bosquetes en riveras de ríos, boques peri urbanos, y arboles presentes en áreas privadas de la ciudad, además de realizar un seguimiento de biomasa y carbono de las especies ya identificadas en el estudio.
- Realizar planes de manejo del arbolado urbano del cantón, con la información que se generó con este trabajo de investigación, que permita mejorar la condición fitosanitaria y de desarrollo de los mismo.
- En estudios posteriores se debe extender en otras parroquias de la ciudad tomando en cuenta el constante crecimiento poblacional e incremento de la zona urbana y rural ya que es importante monitorear el incremento de la biomasa de las especies situadas en las zonas.
- Generar proyectos de áreas verdes en el cantón que contemplen el uso de especies nativas, con un potencial de secuestro de carbono, sobre todo en la zona sur de la ciudad donde se evidencia un bajo desarrollo de cobertura arbórea

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abner Chávez, 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.
- Acosta, H. C. (2013). *Especies recomendadas para la arborización urbana de Montería, Colombia*. Córdoba: Universidad de Córdoba.
- Aguirre, C., & Vizcaíno, M. (2010). *Aplicación de estimadores estadísticos y diseños experimentales en investigaciones forestales*. Ibarra.
- AQUAE FOUNDATION . (s.f.). *AQUAE FOUNDATION* . Obtenido de Los gases de efecto invernadero: <https://www.fundacionaquae.org/wiki-aquae/sostenibilidad/los-gases-de-efecto-invernadero/>
- Arévalo, L., & Alegre, J. (2003). *Manual de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú*. Pucallpa: Ministerio de agricultura.
- Benavides, H. O. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Burban, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*. Obtenido de : <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.85>.
- Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (10 de Octubre de 2007). *Revista unam.mx*. Obtenido de Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra: <http://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/int78.htm>
- Caliper Corporation. (2005). *Travel Demand Modeling with TransCAD 4.8*. Massachusetts.
- Camilloni, I., & Barros, V. (1991). Modelo de estimación del exceso urbano de calor; su aplicación a las ciudades de Rosario y Paraná. Resumen Congreso IV. *Congreso IV*, (págs. 23-27). Buenos Aires.

- Cancino, J. (2012). *Dendrometría Basica*. Concepción: Universidad de Concepción .
- Castillo, L., & Ferro, S. A. (2015). La problemática del diseño con árboles en vías urbanas: “verde con respuntes negros”. *Arquitectura y Urbanismo*, XXXVI.
- Castro, R. (2011). *Guías Didácticas de Educación Ambiental*. Andalucía.
- 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.
- Correa, P., & De la Barrer, F. (2017). Análisis de la estructura y de la composición del arbolado en parques del área metropolitana de Santiago. Chloris composición del arbolado en parques del área metropolitana de Santiago. Chloris chilensis. *Revista chilena de flora y vegetación.*, 14.
- Cruz G., J., & Osuna S., M. (2015). *Química del carbón un enfoque en competencias*. Sinaloa, México.
- Cuellar, O. A. (2016). *Actualización y Calibración del Modelo de Asignación de Tráfico de Hora Pico para Vehículo Particular y Estudio del Modelo a través del Análisis de Resultados y Sensibilidad. Aplicación al Caso de Bogotá*. Bogotá.
- Del Valle Melendo, J. (20 de Enero de 2014). *iee.es*. Obtenido de El cambio climático: reflexiones tras la cumbre de Varsovia: <http://www.ieee.es/publicaciones-new/documentos-de-opinion/2014/DIEEEO07-2014.html>
- Díaz, J., & Curiel, A. (2012). Bosques urbanos para enfriar las ciudades. *Ciencia - Academia Mexicana de Ciencias*.
- Domínguez Madrid, A. Y. (2016). *Estimaciones de captura de los parques y emisiones de CO2 vehicular en Tijuana, B.C*. Tijuana, B. C.
- Escobedo, F. (2011). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental Pollution*.

- European Environment Agency. (20 de Septiembre de 2019). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019* . Obtenido de Technical guidance to prepare national emission inventories EEA Report No 13/2019: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>
- FAO. (2007). *FAO Foresta*. Obtenido de Los árboles fuera del bosque : <http://www.fao.org/3/x3989s09.htm>
- FAO. (2017). *Directrices para la silvicultura urbana y periurbana*. Roma.
- FAO. (2018). Bosques y ciudades sostenibles. *Unasylva Revista internacional sobre bosques y actividades e industrias forestales*, 69.
- Fernández, G. (2009). *Ciudad y cambio climático: aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid*. Madrid.
- Foladori, G. (2001). *Los Problemas Ambientales Urbanos y sus Causas*. Curitiba.
- Fonseca G., W. (2017). Review of Methods for the Monitoring of Biomass and Vegetal Carbon in Tropical Forest Ecosystems. *Tropical Journal of Environmental Sciences*, 51, 94-95.
- Gallego, J., & Tabares, A. (2014). *Silvicultura urbana para Manizales*. Manizales: CHEC, Alcaldía de Manizales, CORPOCALDAS, Universidad de Caldas.
- Gallo, M. H. (2019). *Servicios ecosistemicos del arbolado urbano del carmen de bolivar, departamento de Bolivar*. Sincelejo.
- Gómez, F., Tamarit, N., & Jabayoles, J. (2001). Green zones, bioclimatics studies and human. *Landscape and urban*, 55.
- González, C. (2002). *Beneficios del Arbolado Urbano*.
- Grandos, J. T. (1998). *La reducción del traficode automoviles: política urgente de promoción de la salud*.

- Grange, L. (2008). Un Enfoque de Parametrización para la Determinación de un Problema de Optimización Equivalente del Problema de Asignación de Tráfico con Costos Lineales Asimétricos. *INGENIERÍA DE TRANSPORTE*, 13.
- Guillén, R. (2010). *Estrategia Centroamericana de Desarrollo Rural Territorial*. San José.
- Gutiérrez, F. d. (2006). *Estado de conocimiento de especies invasoras, propuesta de lineamientos para el control de los impactos*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.
- Hernández, P. (2014). *Captura de carbono del arbolado urbano de la Unidad Deportiva Sierra Hermosa, Tecámac, edo. de México*. Chapingo.
- Herrera Peraza, E. F. (2014). *Memorias del Segundo Congreso Cambio Climático del Estado de Chihuahua*. Chihuahua: Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. .
- Hubenthal, A. (2010). *Evaluación del sector transporte en Ecuador con miras a plantear medidas de mitigación al Cambio Climático*.
- Huohes, R. F. (1997). Effects of deforestation and land use on biomass, carbon, and Nutrient Pools in the Los Tuxtlas Region. Mexico. *Department of Forest Science*.
- Ibrahim, M. (2007). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*.
- INEC. (2002). *IX Censo Nacional de Población: Características*. San José. Obtenido de Censo 2000:
https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos/inec_institucional/publicaciones/03_ix_censo_nacional_de_poblacion._caracteristicas_economicas.pdf
- INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. Obtenido de Población y Demografía:
<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- INEC. (2012). *Índice Verde Urbano 2012*.

- INEC. (2015). *Anuario de estadísticas de transporte 2015*.
- IPCC. (2007). *Cuarto informe de evaluación del IPCC, Grupo de Trabajo III, Cambio Climático – Mitigación del Cambio Climático Ministerio del Ambiente (2001), Primera Comunicación Nacional del Ecuador a la CMNUCC*.
- IPCC. (2013). *En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo Ial Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Reino Unido y Nueva York: Cambridge University.
- Ivanega, M. (s.f.). *Construcciones urbanas y medio ambiente* . Buenos Aires .
- Juhani, O. (2001). *Estudio sobre el estado actual de las especies exóticas*. Caracas.
- Kuchelmeister, G. (2000). Árboles y silvicultura en el milenio urbano. *Unasylya*(200).
- Kuchelmeister, G., & Braatz, S. (1993). Una nueva visión de la silvicultura urbana. *Unasylya*, 173.
- Larios M, J. (2008). *Calentamiento global al borde del límite* (Octava ed.). Córdoba: INET.
- Lessard, R. L., Gignac, D., & Rochette, P. (2019). *El Ciclo del Carbono Midiendo el flujo del CO2 del suelo*.
- López, W. (1994). *Sistemas Agrarios de producción*. Tarapoto.
- MAE. (2015). *Las normas para el manejo sostenible de de los bosques. Acuerdo ministerial N° 125*. Quito .
- Maldonado, F., González, F., & Jiménez, M. d. (2007). Las ilustraciones de los ciclos biogeoquímicos del carbono y nitrógeno en los textos de secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3.
- Marquéz, L. G., Monsalve, & Jaimes, H. (2010). *Comparación de Métodos de Asignación a Redes Para Distintos Volúmenes de Tránsito*. Bogotá.
- Meira, P. Á. (2013). Problemas ambientales globales y educación ambiental. *Integra Educativa*.

- Méndez V, E. (1997). *Los problemas ambientales: entre la globalización y la lugarización*. Mérida.
- Méndez, L., & Angel, M. (2011). Ecuaciones alométricas y estimación de incrementos en biomasa aérea y carbono en una plantación mixta de *Pinus devoniana* Lindl. y *P. pseudostrobus* Lindl., en Guanajuato, México. *Agrociencia*.
- Mendoza, C., & Jiménez Narváez, G. (2017). Relación entre el efecto invernadero y el cambio climático desde la perspectiva del sector agrario. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, 70.
- Meza, L. P. (2015). *Tesis De Pregrado. Biomasa Aerea Y Contenido De Carbono De Los Bosques Del Area De Influencia De La Carretera Iquitos – Nauta. Peru*. Iquitos, Perú.
- MINAM. (2015). *Guía de inventario de la flora y vegetación*. Lima, Perú.
- Oficina Catalana del Canvi Climatic. (2013). *Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)*. Catalunya.
- Ordóñez, J., De Jong, B., & Maser, O. (2001). Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques* 7.
- Ordóñez Diaz, J. A. (2015). Densidad de las maderas mexicanas. *Madera y Bosques*, 21, 77-126.
- Ordóñez, B. J., & Maser, O. A. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 4-5.
- Quiceno, N. J., & Tangarife, G. M. (2016). Estimación del contenido de biomasa, fijación de carbono y servicios ambientales, en un área de bosque primario en el resguardo indígena Piapoco Chigüiro-Chátare de Barrancominas, . *Luna Azul*, 185-186.
- Quiñónez, L. Y. (2010). *Gestión Forestal Urbana Como Mecanismo de Captura de Carbono en el Campus de la Pontificia Universidad Javerina Sede Bogotá D.C*. Bogotá: Pontificia Universidad Javerina.
- Quiroz, B. (2013). Las ciudades y el cambio climático: el caso de la política climática de la Ciudad de México. *Estudios Demográficos y Urbanos*.

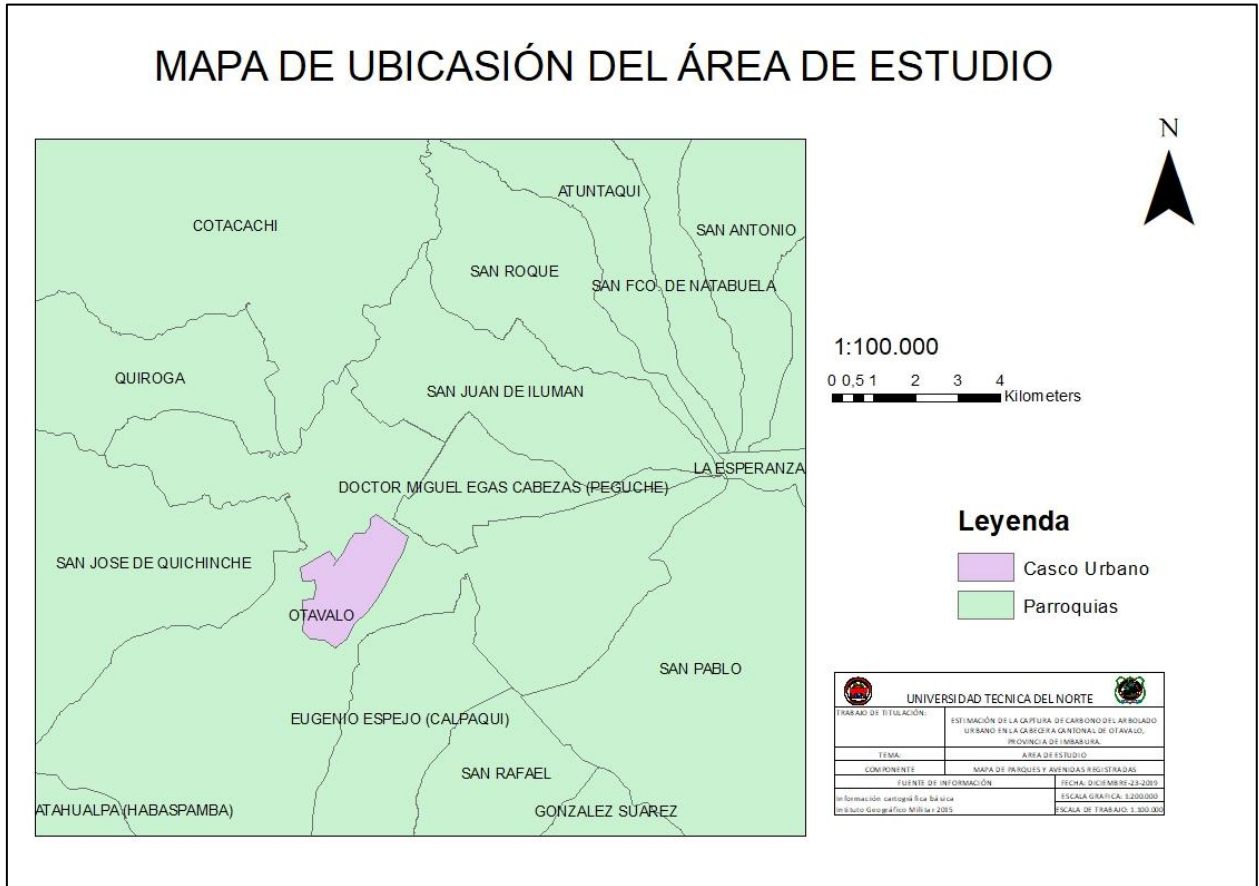
- Racero M, J. (2006). Estimación de la emisión de contaminantes debida al tráfico urbano mediante modelos de asignación de tráfico. *X Congreso de Ingeniería y Organización* . Valencia.
- Rendón Gutiérrez, R. E. (2010). *Espacios Verdes Públicos Y Calidad De Vida*. México DF.
- Reyes Avilés, I., & Gutiérrez, J. J. (2010). Los servicios ambientales de la arborización urbana: retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad de Toluca. *Quivera*.
- Rivas T, D. (2004). *Planeación, espacios verdes y sustentabilidad en el Distrito Federal*. México D.F: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Rodríguez, L. A. (2016). Estimación de biomasa y carbono almacenado en bosques comunitarios de la región Frailesca de Chiapas, México. *Revista mexicana de ciencias forestales*.
- Rodríguez, Y. (2018). *Comportamiento del carbono retenido en el arbolado urbano en el sur de la ciudad de Guantánamo* . Guantánamo .
- Rügnitz, M. T., Chacón, M. L., & Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. Lima.
- Rügnitz, M., Chacón, M. L., & R, P. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales* (Primera ed.). Lima: ICRAF.
- Ruiz D., C., Rodríguez O., G., & Leyva L., J. (2014). Methodologies for estimating biomass and carbon in forest species from Mexico. *Naturaleza y desarrollo*, 12, 33-35.
- Sánchez, J. M. (2013). *El árbol en el diseño urbano*.
- Saugier, B., & Pontailier, Y. (2006). El ciclo global del carbono y sus consecuencias en la fotosíntesis en el Altiplano boliviano. *Ecología en Bolivia*, 43, 71-74.
- Saynes Santillán, V. (2015). *Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México* . Mexico D.F.
- Selga, J. (2010). *Plan Director de Arbolado Viario de Alcorcón*. Alcorcón.

- Soares, B., & Oliveira, R. (2002). Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em viçosa. *Revista Árvore*.
- Solomon, S., Qin, D., & Manning, M. (2007). *Informe aceptado por el Grupo de Trabajo I del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático pero no aprobado en detalles*. Reino Unido y Nueva York: Cambridge University Press.
- Tarr, J. A. (1998). *The city and the natural environment*.
- Tovar, G. (2007). Manejo del arbolado urbano en Bogotá. *Territorios*.
- UICN. (2000). *Guías para la prevención de pérdidas de diversidad biológica ocasionadas por especies exóticas invasoras*. Invasive Species Specialist Group (ISSG).
- Uribe, E. (1998). *Enverdecimiento urbano en Colombia. Bogotá: Áreas verdes en Latinoamérica y el Caribe*. Bogota.
- Useros Fernández, J. L. (2012). El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales. *Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid, 50*.
- Vallespinós, F., & Cucurull, D. (2008). *Mitigación y adaptación local al cambio climático*. Madrid .
- Vélez Restrepo, L., & Herrera Villa, M. (2015). Jardines Ornamentales Urbanos Contemporáneos: Transnacionalización, Paisajismo y Biodiversidad. Un Estudio Exploratorio en Medellín, Colombia. *Facultad Nacional de Agronomía*.
- Wagner, H. C. (2011). *Dirio de Queretaro*. Obtenido de <http://www.oem.com.mx/diariodequeretaro/notas/n2168228.htm>
- Wardrop, J. (1952). Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research. *Proceedings Institution of Civil Engineers*.

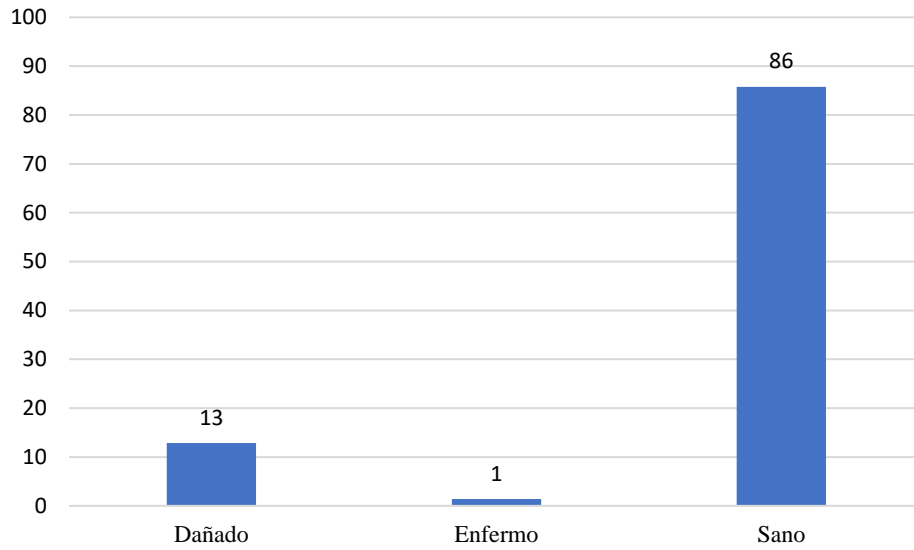
CAPÍTULO VII

ANEXOS

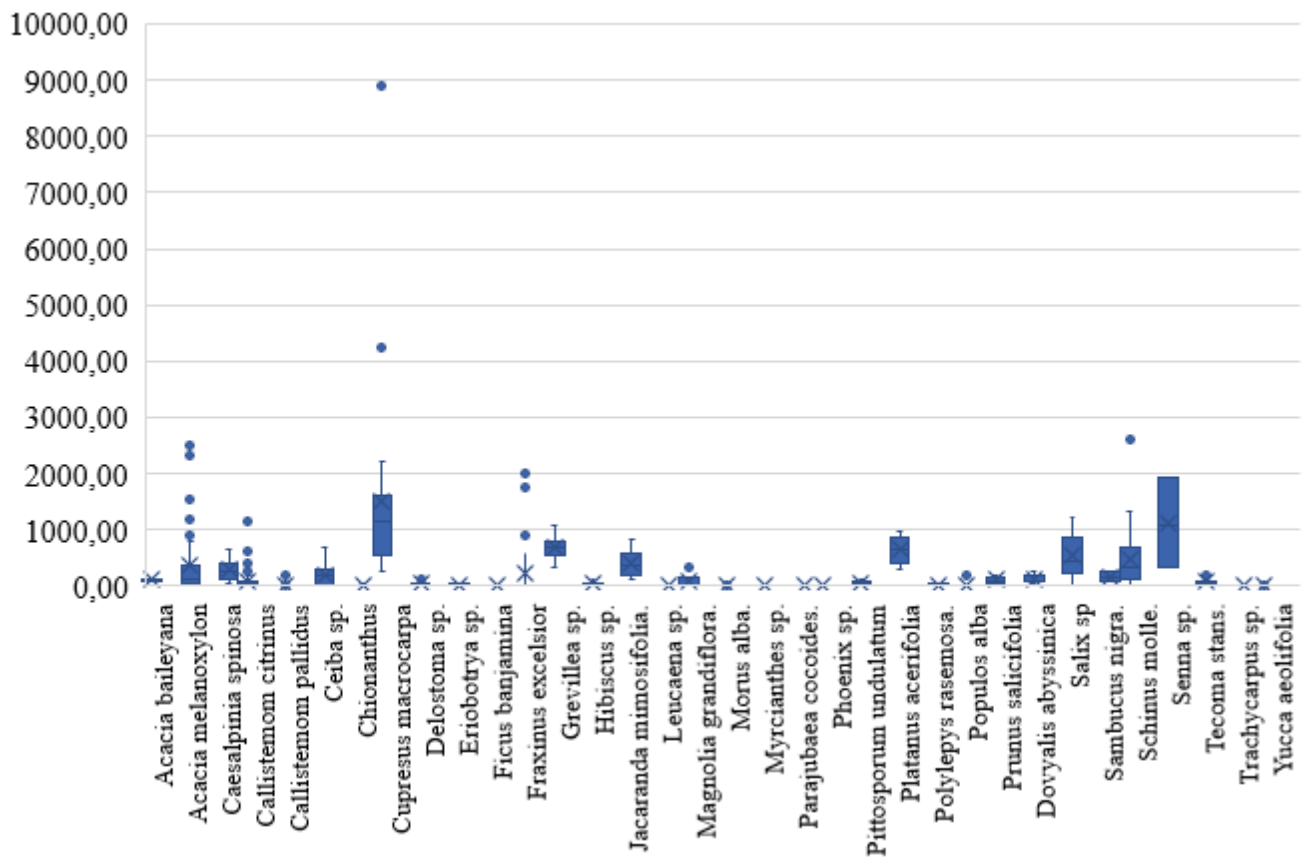
Anexo 1. Figuras



Figuras 12. Mapa de Ubicación



Figuras 13. Estado sanitario del arbolado urbano



Figuras 14. Promedio de carbono capturado por especie

Anexo 2. Tablas

Tabla 9. *Estadística descriptiva*

Tipo	Resumen	DAP (cm)	Altura (m)	DC	Altura de copa (m)
Avenida	n	231	231	224	225
Avenida	Media	23,49	4,83	5,9	2,98
Avenida	D.E.	13,27	1,86	12,92	1,53
Avenida	E.E.	0,87	0,12	0,86	0,1
Avenida	CV	56,51	38,5	219,14	51,21
Avenida	Mín	1,2	1	0,72	0,5
Avenida	Máx	82,12	11	194,89	9
Avenida	Suma	5425,56	1115,02	1320,95	670,72
Calle	n	514	514	459	459
Calle	Media	18,36	4,08	2,39	1,71
Calle	D.E.	20,23	2,18	1,76	1,13
Calle	E.E.	0,89	0,1	0,08	0,05
Calle	CV	110,15	53,42	73,87	66,25
Calle	Mín	1,27	0,6	0,3	-0,7
Calle	Máx	110,19	10,5	10,67	7,6
Calle	Suma	9438,84	2097,03	1096,29	783,34
Parque	n	471	477	298	296
Parque	Media	26,53	4,42	4,53	2,83
Parque	D.E.	26,89	2,81	3,77	1,98
Parque	E.E.	1,24	0,13	0,22	0,12
Parque	CV	101,38	63,59	83,09	70,11
Parque	Mín	1,33	0,49	0	0,2
Parque	Máx	143,23	15	19,72	9,2
Parque	Suma	12494,5	2109,58	1351,27	837,41

Tabla 10. Resumen del censo forestal

Familia	Especie	Individuos	Ai %	Densidad Básica	Origen	Biomasa (Ton)	Carbono (Ton)
Adoxaceae	Sambucus nigra.	2	0,16	0,34	Exótica	0,7	0,35
Agavaceae	Yucca aeolifolia	49	4,01	0,26	Exótica	0,01	0,00
Anacardaceae	Schinus molle.	49	4,01	0,32	Nativa	47,72	23,86
	Parajubaea cocoides.	12	0,98	0,16	Nativa	0,00	0,00
Arecaceae	Phoenix sp.	25	2,05	0,17	Exótica	0,05	0,02
	Trachycarpus sp.	154	12,60	0,34	Exótica	0,04	0,02
	Chionanthus pubescens	37	3,03	0,50	Nativa	1,07	0,54
Bignonaceae	Delostoma sp.	13	1,06	0,34	Nativa	0,93	0,47
	Jacaranda mimosifolia.	18	1,47	0,39	Nativa	14,42	7,21
	Tecoma stans.	46	3,76	0,48	Nativa	6,47	3,23
Cupresaceae	Cupresus macrocarpa	24	1,96	0,36	Exótica	73,11	36,55
	Acacia baileyana	2	0,16	0,48	Exótica	0,43	0,21
	Acacia melanoxylon	65	5,32	0,49	Nativa	46,34	23,17
Fabaceae	Caesalpinia spinosa	11	0,90	0,52	Nativa	6,36	3,18
	Leucaena sp.	1	0,08	0,49	Nativa	0,06	0,03
	Senna sp.	3	0,25	0,48	Nativa	6,77	3,38
Magnoliaceae	Magnolia grandiflora.	6	0,49	0,36	Nativa	1,02	0,51
Malvaceae	Ceiba sp.	17	1,39	0,19	Nativa	6,64	3,32
	Hibiscus sp.	8	0,65	0,48	Exótica	0,57	0,28
Moraceae	Ficus banjamina	186	15,22	0,39	Exótica	2,90	1,45
	Morus alba.	13	1,06	0,11	Exótica	0,21	0,10
	Callistemom citrinus	121	9,90	0,47	Exótica	22,93	11,47
Myrtaceae	Callistemom pallidus	79	6,46	0,45	Exótica	2,35	1,17
	Myrcianthes sp.	25	2,05	0,51	Nativa	0,85	0,43
Olanaceae	Fraxinus excelsior	53	4,34	0,44	Exótica	22,66	11,33
Pittosporaceae	Pittosporum undulatum	6	0,49	0,47	Exótica	0,69	0,34
Platanaceae	Platanus acerifolia	5	0,41	0,31	Exótica	6,44	3,22
Proteaceae	Grevillea sp.	22	1,80	0,59	Exótica	30,45	15,23
	Eriobotrya sp.	6	0,49	0,53	Exótica	0,35	0,17
Rosaceae	Polylepys rasemosa.	3	0,25	0,45	Nativa	0,17	0,09
	Prunus salicifolia	11	0,90	0,53	Nativa	2,32	1,16
	Dovyalis abyssinica	9	0,74	0,58	Exótica	2,31	1,16
Salicaceae	Populus alba	133	10,88	0,30	Exótica	3,98	1,99
	Salix sp	8	0,65	0,47	Exótica	8,62	4,31
	Suma	1222	100	-	-	319,94	159,97

Tabla 11. Factor de emisión medio para cualquier tipo de conducción

Tipo de vehículo	Subcategoría	Tecnología	Factor de emisión (g) CO ₂ /Km
Turismos Gasolina	< 1,4 l	Anterior a Euro 1	206,9
		Euro 1 y posteriores	178,25
	1,4 - 2,0 l	Anterior a Euro 1	245,09
		Euro 1 y posteriores	210,08
	> 2,0 l	Anterior a Euro 1	302,39
		Euro 1 y posteriores	273,74
Turismos Diésel	< 2,0 l	Anterior a Euro 1	197,69
		Euro 1 y posteriores	172,59
	> 2,0 l	Anterior a Euro 1	235,35
Turismos híbridos	1,4 - 2,0 l	Euro 1 y posteriores	229,07
		Euro 1 y posteriores	82,76
Ligeros Gasolina	< 3,5 t	Anterior a Euro 1	270,56
		Euro 1 y posteriores	318,3
Ligeros Diésel	< 3,5 t	Anterior a Euro 1	279,28
		Euro 1 y posteriores	251,04
	<= 7,5 t	Anterior a Euro I	392,25
Camiones Diésel	7,5 - 16 t	Euro I y posteriores	316,94
		Anterior a Euro I	571,12
	16 - 32 t	Euro I y posteriores	486,39
		Anterior a Euro I	787,64
	> 32 t	Euro I y posteriores	658,98
		Anterior a Euro I	931,99
Autocares Diésel	Estándar <= 18 t	Euro I y posteriores	787,64
		Anterior a Euro I	825,29
		Euro I y posteriores	775,09
Ciclomotores	< 50 cm ³	Anterior a Euro 1	79,58
		Euro 1	47,75
		Euro 2	38,2
	2 Tiempos > 50 cm ³	Euro 3	35,01
		Anterior a Euro 1	105,04
		Euro 1	79,58
Motocicletas	4 Tiempos < 250 cm ³	Euro 2	73,21
		Euro 3	54,11
		Anterior a Euro 1	101,86
	4 Tiempos 250 - 750 cm ³	Euro 1 y posteriores	114,59
		Anterior a Euro 1	117,77
	4 Tiempos > 750 cm ³	Euro 1 y posteriores	114,59
Anterior a Euro 1		143,24	
		Euro 1 y posteriores	146,42

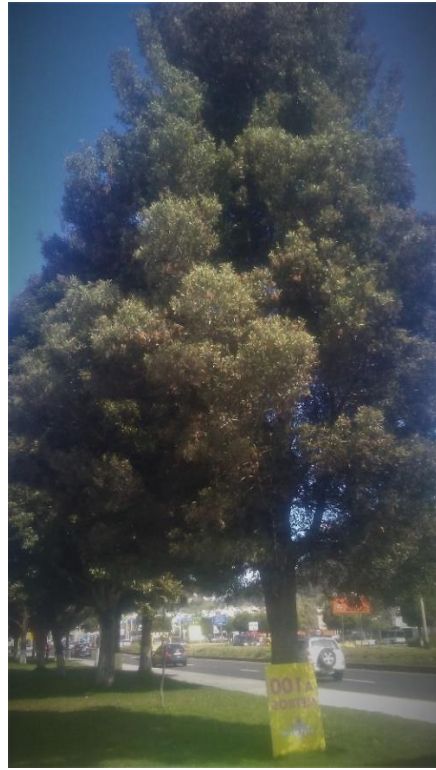
Fuente: Guía Práctica para el cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Anexo 3. Fotografías

3.1 Especies Identificadas



Acacia baileyana



Acacia melanoxylon



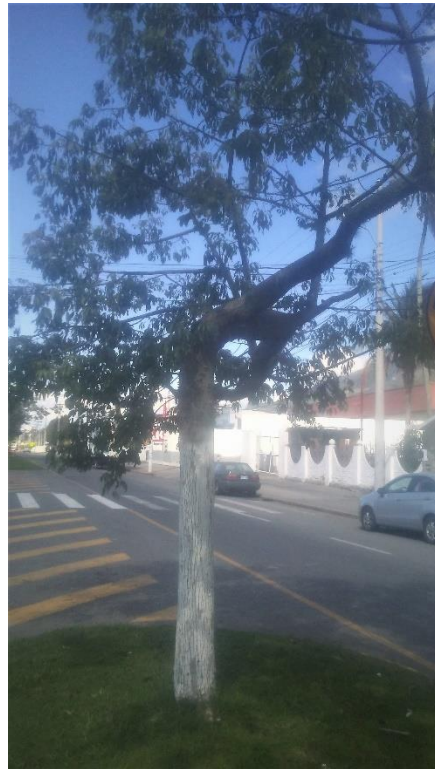
Caesalpinia spinosa



Callistemom citrinus



Callistemom pallidus



Ceiba sp.



Chionanthus pubescens



Cupressus macrocarpa



Delostoma sp.



Eriobotrya sp.



Ficus Benjamina



Fraxinus excelsior



Grevilla sp.



Hibiscus sp.



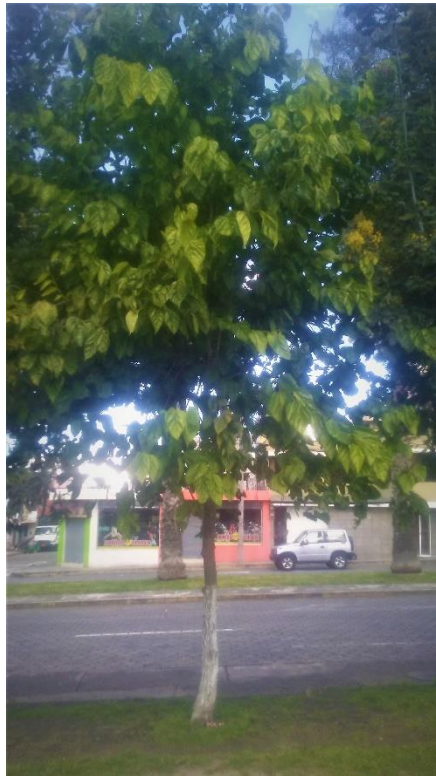
Jacaranda mimosifolia.



Leucaena sp.



Magnolia grandiflora



Morus alba.



Myrcianthes sp.



Parajubaea cocoides.



Phoenix sp.



Pittosporum undulatum



Platanus acerifolia



Polylepys racemosa



Populus alba.



Prunus salicifolia.



Dovyalis abyssinica.



Salix sp



Sambucus nigra.



Schinus molle.



Senna sp.



Tecoma stans.



Trachycarpus sp.



Yucca aeolifolia.

3.2 Toma de muestras y cálculos de laboratorio



Medición Dap



Medición dasométrica



Toma de muestras



Muestras de fuste



Etiquetado de muestras



Pesaje de muestras