

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

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

DETERMINACIÓN DEL CARBONO AÉREO DE DOS BOSQUES SECUNDARIOS, EN LA ZONA DE INTAG - IMBABURA

AUTOR:

Córdova Perugachi Mario Efraín

DIRECTOR:

Ing. Jorge Luis Ramírez López M.Sc.

IBARRA – ECUADOR

2020

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

**“DETERMINACIÓN DEL CARBONO AÉREO DE DOS BOSQUES
SECUNDARIOS, EN LA ZONA DE INTAG - IMBABURA”**

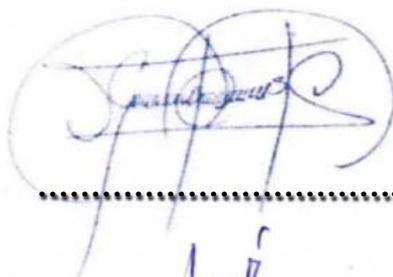
Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza la presentación como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

APROBADO:

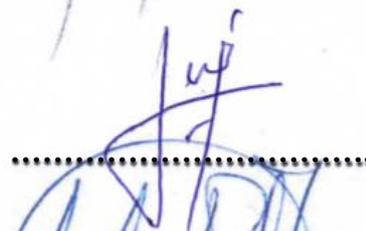
Ing. Jorge Luis Ramírez López M.Sc.

Director de trabajo de titulación



Ing. Jorge Luis Cué García PhD.

Tribunal de trabajo de titulación



Ing. Eduardo Jaime Chagna Ávila Mgs.

Tribunal de trabajo de titulación



Ibarra – Ecuador

2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
Cédula de ciudadanía:	100388652-8		
Apellidos y nombres:	Córdova Perugachi Mario Efraín		
Dirección:	Duchicela 1-68 y Princesa Paccha (Caranqui)		
Email:	mecordovap@utn.edu.ec mariocordova2fmb@gmail.com		
Teléfono fijo:	062 652 132	Teléfono celular:	0985090767

DATOS DE LA OBRA	
Título:	DETERMINACIÓN DEL CARBONO AÉREO DE DOS BOSQUES SECUNDARIOS, EN LA ZONA DE INTAG - IMBABURA
Autoría:	Córdova Perugachi Mario Efraín
Fecha:	26 de mayo del 2020
SOLO PARA TRABAJO DE TITULACIÓN	
Programa:	Pregrado
Título por el que opta:	Ingeniero Forestal
Director:	Ing. Jorge Luis Ramírez López M.Sc.

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 esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 26 de mayo del 2020

EL AUTOR:



Mario Efraín Córdova Perugachi

C.C. 100388652-8

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por acompañarme en cada actividad que he realizado durante el tiempo de formación. A la Universidad Técnica del Norte y a todos quienes formaron y forman parte de la carrera de Ingeniería Forestal, por permitirme cumplir mi sueño de formación y brindarme la herramienta para crecer en el ámbito profesional.

A todos quienes fueron partícipes del trabajo realizado, en especial al señor Gustavo León propietario de los bosques y que brindó todas las facilidades para la realización de este trabajo. A todos los compañeros y amigos que colaboraron en el trabajo de campo realizado. De igual manera a la señora Lourdes Carrera, que con su cariño y apoyo ayudo a cumplir cada uno de mis sueños.

A los miembros del tribunal que aportaron con cada sugerencia y corrección, que fueron de apoyo para tener un crecimiento personal, en especial al Ingeniero Jorge Ramírez, por su valiosa amistad, paciencia, dedicación y compromiso, que estuvo presente en cada etapa de elaboración del trabajo de grado.

A mis padres que brindaron todo el apoyo para alcanzar este gran sueño, y que me apoyaron y me dieron ánimos para jamás desistir del trabajo realizado. El camino no fue sencillo, pero el apoyo continuo de cada uno permitió llegar a la meta con éxito, mi más sincero agradecimiento y mi afecto eterno.

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación dedico a mi hermana Anita, para que vea que todo con un poco de esfuerzo y perseverancia es posible. A mis abuelitos y abuelitas que fueron los pilares de mi infancia y lograron moldear mi personalidad y han logrado que cumpla este sueño. A todos mis amigos que con su apoyo incondicional estuvieron al frente con palabras de aliento y preocupación me impulsaron a superar cada obstáculo en el camino.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
APROBACIÓN.....	ii
AUTORIZACIÓN DE USO	iii
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I	
1 INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 Objetivos.....	15
1.1.1 General.....	15
1.1.2 Específicos.....	15
1.2 Hipótesis	15
CAPÍTULO II	
2 MARCO TEÓRICO	16
2.1. Fundamentación legal.....	16
2.1.1. Constitución de la República del Ecuador 2008.....	16

2.1.2.	Código Orgánico de Ambiente (COA).....	16
2.1.3.	Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021	17
2.1.4.	Plan Nacional REDD+.....	18
2.1.5.	Línea de investigación.....	18
2.2.	Fundamentación teórica.....	18
2.2.1.	Bosques en el Ecuador.....	18
2.2.2.	Efecto invernadero.....	21
2.2.3.	Cambio climático.....	22
2.2.4.	Ciclo del carbono.....	24
2.2.5.	Determinación de la biomasa forestal	27
2.2.6.	Modelos alométricos.....	29

CAPÍTULO III

3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1.	Ubicación del sitio	31
3.1.1.	Fase de campo	31
3.1.2.	Datos climáticos	33
3.1.3.	Laboratorio	33
3.2.	Materiales y equipos.....	34
3.3.	Metodología.....	35
3.3.1.	Delimitación del área de estudio	35
3.3.2.	Inventario.....	36

3.3.3.	Determinación de la biomasa	37
3.3.4.	Construcción de modelos alométricos	41
3.3.5.	Determinación del carbono del bosque	42
3.3.6.	Comparación entre bosques.....	42
CAPÍTULO IV		
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1.	Establecimiento y delimitación del área de estudio.....	43
4.2.	Estadística de los parámetros de forma de los árboles	44
4.3.	Modelos alométricos para la estimación del carbono aéreo	44
4.3.1.	Bosque 18 años.....	45
4.3.2.	Bosque 30 años.....	49
4.4.	Cálculo del carbono aéreo	53
4.5.	Comparación entre bosques.....	58
CAPÍTULO V		
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
5.1.	Conclusiones.....	60
5.2.	Recomendaciones	60
ANEXOS.....		61
BIBLIOGRAFÍA.....		62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Coordenadas UTM de las parcelas por Bosque</i>	33
Tabla 2. <i>Materiales utilizados en la investigación</i>	34
Tabla 3. <i>Equipos y softwares utilizados en la investigación</i>	34
Tabla 4. <i>Grupos de especies</i>	39
Tabla 5. <i>Valores del FEB</i>	39
Tabla 6. <i>Estadísticas descriptivas de los parámetros de forma de los árboles</i>	44
Tabla 7. <i>Modelos alométricos por parcela bosque 18 años</i>	45
Tabla 8. <i>Modelos alométricos por clase diamétrica bosque 18 años</i>	46
Tabla 9. <i>Modelos alométricos para el bosque de 18 años</i>	46
Tabla 10. <i>Modelos alométricos por parcela bosque 30 años</i>	49
Tabla 11. <i>Modelos alométricos por clase diamétrica bosque 30 años</i>	50
Tabla 12. <i>Modelos alométricos para el bosque de 30 años</i>	50
Tabla 13. <i>Estadísticas descriptivas del carbono total y promedio de los bosques</i>	53
Tabla 14. <i>Especies representativas del bosque de 18 años</i>	55
Tabla 15. <i>Especies representativas del bosque de 30 años</i>	56
Tabla 16. <i>Cuadro de resumen del carbono por componente</i>	58
Tabla 17. <i>t. de student para medias de variables independientes</i>	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Modelo idealizado del efecto invernadero</i>	22
Figura 2. <i>El ciclo global del carbono en la actualidad.</i>	25
Figura 3. <i>Ubicación de los bosques</i>	32
Figura 4. <i>Distribución de las parcelas en cada bosque</i>	36
Figura 5. <i>Valores predichos versus los valores observados por parcela bosque 18 años</i> 47	
Figura 6. <i>Valores predichos versus los valores observados para cada clase diamétrica bosque 18 años</i>	48
Figura 7. <i>Valores predichos versus los valores observados para el bosque 18 años</i>	48
Figura 8. <i>Valores predichos versus los valores observados por parcela bosque 30 años</i> 51	
Figura 9. <i>Valores predichos versus los valores observados para cada clase diamétrica bosque 30 años</i>	52
Figura 10. <i>Valores predichos versus los valores observados para el bosque 30 años</i>	52
Figura 11. <i>Hoja de campo para la recolección de información</i>	61
Figura 12. <i>Análisis de laboratorio para el suelo</i>	61

TÍTULO: DETERMINACIÓN DEL CARBONO AÉREO DE DOS BOSQUES
SECUNDARIOS, EN LA ZONA DE INTAG – IMBABURA

Autor: Córdova Perugachi Mario Efraín

Director de trabajo de titulación: Ing. Jorge Luis Ramírez López, M.Sc.

Año: 2020

RESUMEN

En la zona de Intag, las actividades productivas se basan en la agricultura, generando un cambio en el uso del suelo. Luego de perder el nivel productivo y un abandono del área, se da un proceso de recuperación de la vegetación leñosa estableciéndose como bosques secundarios. Por tal motivo, se evaluó la influencia de la estructura y diversidad en la cantidad de carbono almacenado por bosques secundarios. Para la fase de la estimación de la biomasa aérea se utilizó como base la metodología de la evaluación nacional forestal (ENF). La cantidad de carbono almacenado por cada bosque secundario fue 16,78 MgC.ha⁻¹ el de aproximadamente 18 años, mientras que el segundo bosque con una diferencia de 12 años obtuvo un total de 55,73 MgC.ha⁻¹, indicando una tasa de fijación de 2,43 MgC.ha⁻¹-año⁻¹. Estos datos se obtuvieron con ecuaciones alométricas que se desarrollaron para esta investigación, a fin de proporcionar una herramienta eficiente y fácil de usar para estimar el carbono de bosques secundarios con características similares. Las ecuaciones de mejor ajuste fueron las que utilizaron clases diamétricas, por ejemplo, la siguiente ecuación utilizada para el cálculo de una parcela presentó un R² de 0,94 y un CME de 1,86, donde $C = -0,04 + [139,87 \times (DAP^2 \times Ht)]$. Los datos obtenidos muestran que los bosques secundarios se consideran reguladores climáticos, tomando en cuenta la tasa fijación, siendo un aporte considerable de reducción de GEI de la zona.

Palabras clave: ecuaciones, alométrica, biomasa.

TOPIC: DETERMINATION OF CARBON STORAGE IN TWO SECONDARY FOREST, IN THE REGION OF INTAG – IN THE PROVINCE OF IMBABURA

Author: Córdova Perugachi Mario Efraín

Thesis Director: Ing. Jorge Luis Ramírez López, M.Sc.

Year: 2020

ABSTRACT

In the Intag region, productive activities are based on agriculture, generating a change in the land use. After losing the productive level of the area and an abandonment, this area recovers the woody vegetation establishing itself as secondary forests. For this reason, the influence of structure and diversity on the amount of carbon stored by secondary forests was evaluated. For the phase of the estimation of the aerial biomass the methodology of the national forest evaluation was used as base. The amount of carbon stored by each secondary forest was 16.78 MgC.ha⁻¹ for the forest of approximately 18 years, while from second forest which is approximately 12 years older it was obtained a total of 55.73 MgC.ha⁻¹, indicating a fixation rate of 2.43 MgC.ha⁻¹.year⁻¹. These data were obtained with allometric equations that were developed for this research, in order to give an efficient and easy to use tool to estimate the carbon of secondary forests with similar characteristics. The best adjustment equations were those that used diametric classes, for example, the following equation used to calculate a plot presented an R² of 0.94 and a CME of 1.86, where $C = -0.04 + [139.87 \times (DAP2 \times Ht)]$. The obtained data show that secondary forests are considered as climatic regulators, considering the fixation rate. Being a considerable contribution of GHG reduction in the area.

Key words: equations, allometric, biomass.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los bosques a través de la historia se constituyeron ejes del desarrollo de las sociedades. Debido a deficientes prácticas de manejo y al avance de la frontera agrícola grandes extensiones de bosques primarios fueron remplazadas con cultivos. Al perder el nivel productivo, estas áreas fueron abandonadas y establecidas en diferentes zonas (agricultura migratoria), dando como resultado una regeneración del ecosistema en bosques secundarios (Finegan y Gordon, 1993). Estas formaciones vegetales son de importancia ecológica y económica por su distribución y dinámica, por tal motivo requieren estudios que permitan entender su estructura, composición florística y servicios ecosistémicos, como es la captura de carbono (Zamora *et al.*, 2011). Los estudios requieren ser específicos, debido a la diversidad de condiciones físicas y ambientales, esto genera variaciones en la mitigación y adaptación del cambio climático (Moraes, Finegan, Kanninen, Delgado, y Segura, 2002).

Se menciona que la concentración de carbono es superior en bosques primarios. Bosques secundarios de 50 años poseen un 48 %, mientras que uno de 20 años el 13 % de las reservas de carbono en relación a bosques primarios (Lapeyre, Alegre, y Arévalo, 2004). Pese a lo mencionado, la dinámica de rápido crecimiento de estas formaciones las convierte en un potencial sumidero de carbono y regulador hidrológico; en este sentido, este estudio servirá como herramienta para el manejo de los bosques secundarios en la zona de Intag. El análisis de servicios ecosistémicos en la zona es mínima, teniendo un 64 % de la población económicamente activa dedicada a actividades agropecuarias (GADP Peñaherrera, 2015). La intensificación de estas actividades genera una disminución del 3 % anual de la cobertura boscosa ($364,93 \text{ ha.año}^{-1}$) (Gualsaquí, 2018), afectando de esta manera el almacenamiento de carbono.

El estudio aportará para revalorizar los bosques secundarios y evitar que se los observe solo como productores de madera. Los datos de carbono proporcionan un enfoque amplio sobre la realidad ecológica de la zona, lo que aporta para el cumplimiento de los compromisos que posee el país dentro del programa Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+) tanto para la mitigación y la adaptación del cambio climático (MAE, 2016).

1.1 Objetivos

1.1.1 General

- Determinar la influencia de la estructura y diversidad de los bosques en la cantidad de carbono almacenado por bosques secundarios.

1.1.2. Específicos

- Estimar la cantidad de biomasa aérea de dos bosques secundarios.
- Analizar las diferencias de carbono aéreo almacenado en los diferentes componentes de los bosques estudiados.

1.2 Hipótesis

- La estructura y composición florística no tiene influencia en la cantidad de carbono almacenado por los bosques secundarios.
- La estructura y composición florística tiene influencia en la cantidad de carbono almacenado por los bosques secundarios.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentación legal

2.1.1. Constitución de la República del Ecuador 2008

La presente investigación se enmarca en el Art.- 14, mismo que señala la necesidad de las personas de coexistir en un ambiente sano. En este artículo se menciona el derecho de la población a permanecer en zonas donde la calidad ambiental y la sostenibilidad del buen vivir sea garantizado por parte del estado.

En el Art.- 72 se abordan los derechos de la naturaleza, donde se mencionan los haberes de la naturaleza como el derecho a la restauración sobre alguna perturbación ocasionada. Este se enlaza con el Art.- 276 referente al régimen de desarrollo que tiene como objetivo recuperar y conservar la naturaleza manteniendo de esta manera un ambiente sano, enfocándose principalmente en la calidad del agua, aire y suelo.

Teniendo presente el efecto del cambio climático se poseen medidas adoptadas por el país en su constitución, donde en el Art.- 414 se señalan las medidas de mitigación enfocándose en la limitación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la deforestación y la contaminación atmosférica. Por tal motivo, las exigencias en la remediación del ambiente y las políticas públicas para mitigar el cambio climático es un tema de importancia para el estado ecuatoriano (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

2.1.2. Código Orgánico de Ambiente (COA)

El COA en su estructura señala temas relacionados a los objetivos de la investigación. Dentro de estos se encuentra el Art.- 5, aquí se indica el derecho de la población a vivir en un ambiente sano. Este derecho comprende la implementación de planes, programas, acciones y medidas de adaptación para aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad ambiental, social

y económica frente a la variabilidad climática y a los impactos del cambio climático, así como la implementación de estos para mitigar sus causas.

El Art.- 17 señala la importancia de la investigación ambiental. En este artículo se señala que el Estado deberá contar con datos científicos y técnicos sobre la biodiversidad y el ambiente, los cuales deberán ser actualizados permanentemente.

Con respecto a los servicios ambientales se posee desde el Art.- 82 hasta el Art.- 85, donde se menciona la conservación, protección, mantenimiento, manejo sostenible y la restauración de los ecosistemas, a través de mecanismos que aseguren su permanencia. Así como el Art.- 94, donde se prohíbe convertir el uso del suelo a usos agropecuarios en las áreas del Patrimonio Forestal Nacional y las que se encuentren asignadas en los planes de ordenamiento territorial, tales como bosques naturales y ecosistemas frágiles.

Finalmente se posee un capítulo exclusivo para las medidas mínimas para adaptación y mitigación, observando el Art.- 261, donde se señala que la Autoridad Ambiental Nacional, como ente rector, coordinará con las entidades intersectoriales la cuantificación de la emisión de gases de efecto invernadero, según los sectores priorizados y la promoción de las acciones de mitigación; así como la promoción de la restauración de zonas y ecosistemas degradados y afectados e impulso y articulación de medidas que protejan los bosques naturales (MAE, 2017).

2.1.3. Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021

El presente estudio se enmarcó en el eje 1 sobre los Derechos para Todos Durante Toda la Vida y en las políticas y lineamientos que constan en el objetivo 3.

Objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global.

Política 3.1: Indica la obligación de conservar, recuperar y regular el aprovechamiento del patrimonio natural y social, rural y urbano, continental, insular y marino-costero, que asegure y precautele los derechos de las presentes y futuras generaciones.

Política 3.4: Menciona que se debe promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global (SENPLADES, 2017).

2.1.4. Plan Nacional REDD+

Este plan nacional se refiere a las políticas e incentivos positivos para la reducción de emisiones debidas a la deforestación y la degradación de los bosques (REDD+), el cual promueve la conservación, el manejo forestal sostenible y la recuperación de los bosques y sus reservas de carbono (MAE, 2016).

Mediante la ejecución del Plan de Acción REDD+, se posee una oportunidad para contribuir con la mitigación del cambio climático y también la adaptación para la gestión integral y sostenible de los bosques. El Ecuador, adoptó como políticas de Estado los mecanismos de mitigación y adaptación al cambio climático, lo que los convierte en ejes transversales a todos los sectores. Dentro de los objetivos que el país se propone con este accionar está la reducción de emisiones brutas de al menos 20 % al 2025, mediante el establecimiento de políticas, medidas y acciones REDD+ enfocadas a reducir la deforestación (MAE, 2016).

2.1.5. Línea de investigación

Desarrollo agropecuario y forestal sostenible.

2.2. Fundamentación teórica

2.2.1. Bosques en el Ecuador

Ecuador es uno de los 17 países megadiversos del mundo, alberga el 75 % de todos los animales vertebrados y plantas del planeta. Aproximadamente 219 000 especies se albergan en 10 % del territorio planetario (INEC, 2018). Con respecto a las formaciones vegetales existen 91 ecosistemas identificados, donde 65 son boscosos con una extensión de 12 631 198 ha. (MAE, 2018). La región interandina posee un 64 % del total de la diversidad florística, y de

estas el 35 % son endémicas; con un total de 18 198 especies vasculares, es decir el 5,7 % de todas las plantas del planeta (INEC, 2018). Los principales usos en estos ecosistemas es la extracción de madera aserrada con 52 %, mientras que para leña un 19 % y el uso de sus frutos es solo el 7 %; mientras que para otros usos (carbón, medicina, forraje, resina, tintes, usos culturales, control biológico, sombra, artesanías, uso ornamental) se encuentra el 22 % restante (MAE, 2018).

Si bien el país tiene una gran diversidad ecológica, no se posee un dato específico sobre la extensión del bosque primario debido a que no existe una metodología para diferenciar entre bosque primario, secundario y degradado (FAO, 2014). Por tal motivo, se menciona que posiblemente los criterios de clasificación de bosques secundarios y bosque primario aplicados en la ENF tienen sesgos en la clasificación (MAE, MFSCC, y FAO, 2014), sin embargo, estos criterios utilizados son los mencionados por Finegan (Finegan y Gordon, 1993).

Dentro de la problemática de los bosques ecuatorianos, la deforestación es uno de los principales, presentando en el periodo 2014 – 2016 una deforestación bruta anual de 94 353 ha.año⁻¹, siendo la provincia de Morona Santiago con la mayor tasa de deforestación. La provincia de Imbabura posee una tasa bruta de deforestación de 1 770 ha.año⁻¹ (MAE, 2018), mientras que en la zona de Intag se genera una disminución del 3 % anual de la cobertura boscosa (364,93 ha.año⁻¹) (Gualsaquí, 2018). Por otro lado, el tráfico de especies es un problema por considerar, esto reduce los vectores de dispersión; según datos del MAE, se extrajeron 373 plantas, 190 reptiles, 184 aves, 99 invertebrados y 74 mamíferos en 2016. Si bien en el país los incendios no tienen una influencia considerable en el periodo 2012 – 2017 se afectaron 57 584 hectáreas de bosques y vegetación arbustiva en todo el país, representando el 15 % lo afectado en Imbabura (MAE, 2018).

El uso principal que se da a los bosques es la madera aserrada, donde las principales especies que se aprovechan a nivel nacional en bosques se encuentra el *Brosimum utile* (Sande),

Euphorbia laurifolia (Lechero), *Cedrelinga catenaeformis* (Chuncho), *Otoba parviflora* (Sangre de gallina), *Virola sp.* (Coco), *Trattinickia glaziovii* (Copal), *Erisma uncinatum* (Arenillo), *Humiriastrum procerum* (Chanul), *Sterculia sp.* (Sapote). Este aprovechamiento se ubica principalmente en las provincias de Esmeraldas, Sucumbíos, Orellana, Pastaza y Morona Santiago; mientras que la provincia de Imbabura está en el octavo puesto con un volumen aprovechado de 1 308,43 m³ en 2010 (ITTO y MAE, 2011).

2.2.1.1. Bosques secundarios

Se consideran zonas de carácter sucesional, donde se genera un proceso de recuperación de la vegetación leñosa en tierras cuya vegetación original fue desbastada por acciones naturales o antropogénicas (Finegan y Gordon, 1993; Merino, 2010). El nivel de recuperación de cada bosque secundario está estrechamente relacionado al uso anterior del suelo, así como la cantidad de fuentes semilleras cercanas a dichas zonas (Chamorro y Obando, 2015).

La superficie de bosques secundarios tropicales mundiales ascendía a 850 000 000 ha en 2005, representados por 335 000 000 ha en América, para ese año en varios países la superficie de estos bosques superaba a la extensión de bosques primarios (FAO, 2005, citado por Silva, 2006). Debido a que no se posee un dato correspondiente para Ecuador, se menciona que en el periodo de 1986 – 1996 se registraron 3 445 000 ha en Colombia (IDEAM, 1998, citado por Silva, 2006). La conversión de tierras forestales a agrícolas es la principal causa de generación de estos bosques con un 60 % de efecto (Silva, 2006).

Si bien el cambio de uso de suelo afecta en gran medida a la dinámica de los ecosistemas, genera este tipo de ecosistemas que poseen varios beneficios tanto económicos, sociales y ambientales como alimento, plantas medicinales, materiales de construcción, combustible, forraje para animales, madera de valor y germoplasma de especies útiles. Dentro de los beneficios ambientales se encuentra la rehabilitación de tierras degradadas recuperando la productividad de los suelos, la regulación de flujos de agua, la reducción de erosión del suelo

y protección contra el viento, la acumulación de carbono, la reducción de la presión sobre los bosques primarios y el mantenimiento de la biodiversidad (Bosques y Desarrollo, 1998, citado por Silva, 2006).

2.2.2. Efecto invernadero

Es un proceso natural que retiene parte de la energía impartida por el sol, permitiendo que la tierra se caliente y mantenga la temperatura necesaria para la vida, aproximadamente una tercera parte de la energía que irradia el sol se refleja al espacio en la zona superior de la atmosfera y las dos terceras partes restantes se retienen en la tierra. Al interior del planeta la energía es reflejada por el suelo y los océanos, siendo captada por las nubes y la atmósfera, que la devuelven a la tierra manteniendo una temperatura idónea, de la manera que se aprecia en la figura 1 (IPCC, 2007).

En la atmósfera se encuentran presentes varios gases de forma natural con baja concentración, producto de la evaporación de lagos y mares, la respiración y la descomposición de árboles, plantas y animales al interior de bosques (IPCC, 2007). Estos gases aumentaron sus concentraciones producto de la actividad humana, como el uso de combustibles fósiles, la deforestación, la expansión de la frontera agrícola y el pastoreo (Herrán, 2012). Entre los principales gases se encuentra el dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), óxidos nitrosos (N_2O), clorofluorocarbonados (CFCS), óxidos de nitrógeno (NO), vapor de agua (H_2O), y el ozono troposférico (O_3), siendo estos producidos de manera natural y en mayor cantidad de forma antropogénica (Guayanlema, 2013; IPCC, 2007).

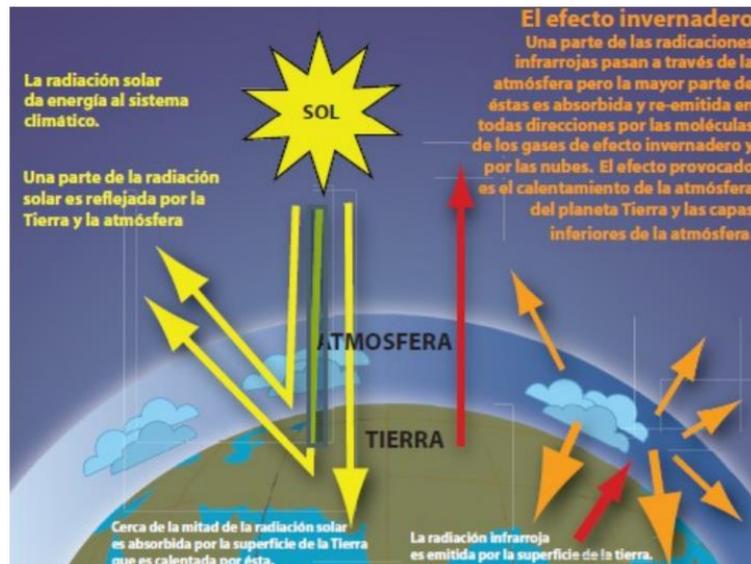


Figura 1. Modelo idealizado del efecto invernadero

Fuente: IPCC, (2007)

2.2.3. Cambio climático

La teoría del cambio climático por efecto del CO₂ fue sugerida por Guy Stewart Callendar en el año 1938 (Gates, 1963); esta menciona que la cantidad de dióxido de carbono aumentó por acción de las actividades humanas, incrementando la temperatura y alterando el clima a nivel mundial. Esta postura se malinterpretó al creer que el efecto invernadero era el problema, dato que años posteriores se corrigió. Callendar en 1938 indicó una tendencia al calentamiento global de alrededor 0,50 °C en las primeras décadas del siglo XX, señaló los sumideros naturales y antropogénicos de carbono, y el papel de los glaciares para controlar el calor de la Tierra (Gates, 1963). Este tema tuvo gran acogida debido a las cantidades excesivas de contaminación que poseía la tierra para inicios del 2000, dando como resultado la creación de propuestas enfocadas a la reducción de estas emisiones (Fleming, 2007).

El calentamiento global hace referencia a la alteración o modificación de uno o varios componentes que pertenecen al sistema climático global, causando un incremento de las concentraciones del carbono atmosférico y por ende un aumento en la temperatura del planeta, se menciona que en el último siglo se incrementó aproximadamente un grado centígrado (Herrán, 2012). Todos estos procesos son el resultado de actividades antrópicas como el cambio

de uso del suelo, actividades agropecuarias, uso indebido de fertilizantes químicos, quema de combustibles fósiles, entre otros (Díaz, 2012; Fogel, 2012).

- Cambio de uso del suelo

Es la conversión de la vegetación natural (bosques, páramos) por prácticas agropecuarias. Estas actividades afectan la ecología del paisaje, la dinámica del ecosistema y ocasionan degradación y deforestación de la zona (Velázquez, Gerardo, y Siebe, 2014). El cambio de uso del suelo por producción agropecuaria es responsable del 73 % de la deforestación, aportando $1,60 \text{ PgC.año}^{-1}$, donde la producción a gran escala posee mayor impacto (40 %) y el 33 % hace referencia a la agricultura de subsistencia (Benjamín y Masera, 2001; FAO, 2016; Ibrahim *et al.*, 2007). Se estima que en el periodo 2010 - 2015 existió una tasa de deforestación de $3\,300\,000 \text{ ha.año}^{-1}$ a nivel mundial, emitiendo indirectamente $1,80 \text{ PgC.año}^{-1}$ representando 20 % de las emisiones totales (Benjamín y Masera, 2001; FAO, 2016; Ibrahim *et al.*, 2007).

Para evitar el alto impacto, se recomienda establecer cultivos en asocio, agroforestería o agricultura de subsistencia con buenas prácticas de manejo, siendo esta última la mejor vía para el desarrollo rural y la conservación del ambiente (FAO, 2016).

- Actividades agropecuarias

Estas actividades generan emisiones de GEI a partir de varias fuentes, como es el caso del metano en la producción de arroz, la producción de CO_2 por la quema de residuos y el uso excesivo de fertilizantes químicos (Rivera y Di Paola, 2013). Se establece a la producción de alimentos un 30 % de las emisiones de GEI mundiales, en todo el proceso (Bermejo, 2010).

La producción pecuaria es uno de los más grandes emisores de GEI debido a la industrialización del proceso (granjas industriales). Las emisiones se generan en la digestión de los rumiantes produciendo metano (CH_4), de igual manera existen emisiones significativas en otros procesos de la ganadería como es el caso de la descomposición del estiércol que se

almacena en piscinas, aportando metano. Se indica que la pecuaria genera entre el 35 – 40 % de las emisiones de metano mundiales (Bermejo, 2010).

- Uso excesivo de fertilizantes

La necesidad de producir mayor cantidad de alimentos llevó a las sociedades a recurrir a la creación de sustancias químicas (fertilizantes químicos) que aumenten la producción de alimentos, pero, a medida que iban aumentando su uso, estos se convirtieron en un problema. Su alta concentración de sustancias volátiles, ocasiona un aumento de GEI en la atmósfera y por ende aportan al calentamiento global (Rivera y Di Paola, 2013).

- Uso de combustibles fósiles

Debido al crecimiento demográfico y tecnológico se requiere mayor cantidad de recursos para la satisfacción de necesidades, lo que genera incrementos en las emisiones de GEI. Se indica que el uso de combustibles fósiles representa aproximadamente el 85 % del dióxido de carbono (CO_2) emitido con $5,50 \text{ PgC.año}^{-1}$, convirtiéndolo en el gas de mayor presencia en la atmósfera (IPCC, 2007).

Actualmente el mundo emite alrededor de 44 PgCO_2 , el 40 % de estas las generan los países desarrollados como es el caso de China, Rusia y Estados Unidos (Herrán, 2012). El Ecuador aporta solo el 0,10 % de las emisiones mundiales, siendo el óxido nitroso y el metano los de mayor importancia para el país, enfocadas por las deficientes prácticas agropecuarias (MAE *et al.*, 2014).

2.2.4. Ciclo del carbono

En el universo existen cuatro elementos principales, entre los que se encuentra el hidrógeno, el helio, el oxígeno y el carbono (C), siendo este último el pilar de la vida. El C se encuentra de dos formas: orgánica (presentes en los organismos vivos y muertos) e inorgánica (presente en los minerales y rocas) (Pérez, 2011). Existen cuatro reservorios principales de C interconectados mediante rutas de intercambio, siendo la atmósfera en forma de dióxido de

carbono (CO_2), la biósfera terrestre (considerada el agua, material vivo y muerto y el C del suelo), en los océanos se encuentra disuelto por la acción del fitoplancton y la acción de los organismos acuáticos que respiran y liberan CO_2 , y los sedimentos (Ministerio de Educación, 2018; Pérez, 2011). Se menciona que el océano posee alrededor de 38 000 PgC, la atmósfera 750 PgC, y el sistema terrestre 550 PgC como biomasa y 1 550 PgC de carbono orgánico del suelo, donde 506 PgC (32 %) se encuentran en suelos de los trópicos, tal y como se aprecia en la figura 2 (Burbano, 2018; Eswaran, Van Den Berg, y Reich, 1993).

Por la acción de la fotosíntesis, el carbono se transfiere de la atmósfera hasta la estructura de estos organismos, mismos que al momento de su descomposición ingresan nuevamente al ciclo en forma de CO_2 . Esto se observa al analizar los suelos y ver la cantidad de carbono presente en la biomasa descompuesta (Jaramillo, 2004).

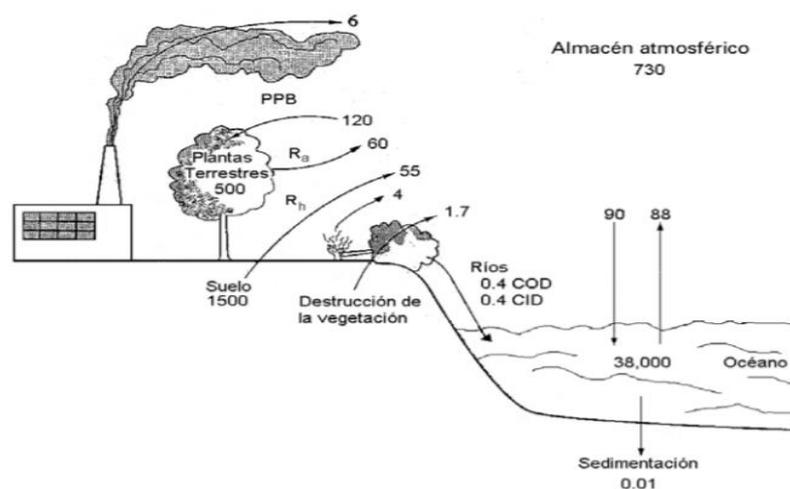


Figura 2. El ciclo global del carbono en la actualidad. Expresados en PgC y los flujos en $\text{PgC}\cdot\text{año}^{-1}$.

Fuente: Jaramillo, (2004)

2.2.4.1. Bosques como sumideros de carbono

Las masas forestales desempeñan un papel importante en el ciclo del C, debido a que almacenan bastas cantidades de carbono en la vegetación y el suelo. Los procesos que realizan son la fotosíntesis y la respiración, procesos que influyen en el intercambio del C con la atmósfera. Se indica que los bosques son sumideros de C durante el abandono de las tierras y la regeneración natural, pero también se consideran fuentes de C cuando son perturbados por

causas naturales (descomposición) o antrópicas (quemadas). Hay que señalar que un bosque en proceso de regeneración captura mayor cantidad de C, ya que requieren grandes cantidades de este elemento para su desarrollo (Rojo, Jasso, y Velásquez, 2003).

Cada bosque posee una estructura y composición propia, por tal motivo, la cantidad de carbono que posee va a diferir. Varios estudios se enfocan en la determinación del carbono almacenado en bosques secundarios, en Costa Rica se obtuvo un total de 297,60 MgC.ha⁻¹, mientras en Nicaragua presentó un total de 162,17 MgC.ha⁻¹ (Ibrahim *et al.*, 2007). A través del tiempo los bosques secundarios aumentan su concentración de C, es así que en Costa Rica a los 5 años de edad se tenía 89,90 MgC.ha⁻¹, mientras que a los 18 años de edad se tuvo 154,90 MgC.ha⁻¹, representando una tasa de fijación promedio de 3 MgC.ha⁻¹.año⁻¹ (Fonseca, Alice, Montero, Toruño, y Leblanc, 2008).

Otro estudio señala que el carbono total almacenado en bosques secundarios en promedio es de 271,70 MgC.ha⁻¹, distribuidos en la biomasa aérea (124,80 MgC.ha⁻¹), biomasa de las raíces (24,30 MgC.ha⁻¹), necromasa (9,60 MgC.ha⁻¹) y carbono orgánico en el suelo (113,10 MgC.ha⁻¹) (Mena, 2008). La hojarasca de bosques húmedos de Guatemala es de 1,70 MgC.ha⁻¹, mientras que en bosques de los Andes en Colombia se reportaron valores de 2,45 a 3 MgC.ha⁻¹ y en bosques húmedos de Brasil hasta 9,10 MgC.ha⁻¹ (Arreaga, 2002; Sierra *et al.*, 2007 y Russel, 1983, citado por MAE *et al.*, 2014).

En el noroccidente del Ecuador en Esmeraldas, un bosque secundario subtropical de 40 años obtuvo un total de 127,50 MgC.ha⁻¹ (López, Koning, Paredes, y Benítez, 2002, citado por MAE *et al.*, 2014), sin embargo, se menciona que en la Cuenca Amazónica se reportaron valores de 26,40 MgC.ha⁻¹ en bosques secundarios, mientras que en la evaluación nacional se tuvo un total de 51,10 MgC.ha⁻¹.

2.2.5. Determinación de la biomasa forestal

La biomasa forestal se refiere a los productos y residuos biodegradables procedentes de la vegetación que se encuentran en formaciones vegetales tanto en la superficie como bajo el suelo, los mismos que se utilizan para conocer la cantidad de material vegetal que presenta una determinada área, este indicador se cuantifica en mega gramos (Mg) o petagramos (Pg) por hectáreas. Dentro de los componentes que se analizan son el fuste, ramas, hojas, detritus y el suelo (Schlegel, Gayoso, y Guerra, 2000).

- Fuste

También conocido como tronco, es el sostén del árbol. Va desde el final de las raíces hasta la yema terminal, sin tomar en cuenta la bifurcación y las ramas. Aumenta de tamaño a medida que el árbol crece y por lo general va reduciendo su ancho a medida que se acerca a la yema terminal. Está recubierto por una capa llamada corteza, posee dos partes principales la albura y el duramen. Por él recorre la sabia bruta y elaborada desde las raíces hasta las hojas y viceversa (Moore *et al.*, 2004).

- Ramas

Se refiere a la parte del árbol donde se desarrollan las hojas, flores y frutos. Es decir, sirven como sostén de los componentes necesarios para su desarrollo, se indica que cada especie posee una distribución única, conocida como estructura de copa. La generación de ramas se dará dependiendo la necesidad de los individuos, las condiciones en las que se desarrolle y la cantidad de luz que puedan aprovechar (Moore *et al.*, 2004).

- Hojas

Las hojas son las responsables de absorber la energía para la vida del árbol, toman el CO₂ y otros gases que necesitan las plantas. Por lo general, poseen una coloración verde debido a la clorofila, esto dependerá de la familia, género, especie y condiciones en las que se encuentren los individuos. Las especies de hoja perenne se mantienen en las ramas todo el año,

es decir, siempre tienen hojas; al contrario de las especies de hojas caducifolias que pierden sus hojas en cierta época del año (Moore *et al.*, 2004).

- Detritus

Los detritus en términos generales es cualquier forma de materia orgánica no viva, incluidos diferentes tipos de tejidos vegetales (por ejemplo, hojarasca, madera muerta, algas), tejido animal (carroña), microbios muertos, heces; así como productos secretados, excretados o exudados de organismos (por ejemplo, polímeros extracelulares, néctar, materia orgánica disuelta, matriz extracelular, mucílago) entre otros componentes (Moore *et al.*, 2004).

Hay que tomar en cuenta que esta biomasa puede ser aprovechada de forma industrial como materia prima para generar combustible o energía (Montoya, 2017). Para la determinación de la biomasa se tiene dos métodos el directo (destrutivo) e indirecto (no destructivo), en este sentido se debe señalar que cada método se lo utiliza dependiendo del estudio a realizar, es decir si se el estudio requiere precisión, el método destructivo es el más adecuado, sin embargo, de manera general se lo puede obtener haciendo uso del método no destructivo (España, 2016).

- Método destructivo

Este método proporciona una información exacta debido a que se aprovecha los árboles completos y el análisis de cada componente se realiza de manera directa. El costo de la obtención de la información es alto, al igual que el impacto ambiental que se genera en la extracción de los árboles. Este método permite plantear relaciones funcionales entre la biomasa y las variables de fácil medición como el DAP y la altura total de manera más exacta (Montoya, 2017).

- Método no destructivo

La información que se genera mediante este método se acerca a la realidad del área de estudio. Para su ejecución se realizan tomas de muestras de cada componente para realizar las

pruebas necesarias y de esta manera obtener la biomasa presente. Al realizar un muestreo de cada componente, los costos de realización y análisis son menores comparados con el destructivo (España, 2016). Se utilizan ecuaciones o factores de expansión, mismos que permiten relacionar datos primarios tomados en campo con características de interés. Por ejemplo, el uso de ecuaciones que permiten obtener la biomasa total estimada de un árbol mediante el uso del DAP, estas ecuaciones se obtienen mediante un análisis de regresión (Rügnitz, Chacón, y Porro, 2009).

- Factor de expansión de biomasa (FEB)

Con el uso de los FEB se puede cuantificar la biomasa total aérea de un bosque, para obtener un factor se toma la proporción que existe entre la biomasa total aérea y el volumen comercial. Para esto se utilizan variables fáciles de obtener como son la altura y la densidad. Estos factores difieren en gran medida de un sitio a otro, debido principalmente a la diversidad de especies, la edad y la estructura dimensional de las parcelas. Con los resultados de varias investigaciones se posee un conjunto de FEB con parámetros afines sobre los árboles, las parcelas y las condiciones, lo que simplifica el cálculo de la cantidad almacenada de carbono (Návar y Silva, 2010).

2.2.6. Modelos alométricos

Son ecuaciones de regresión matemática entre una variable independiente (datos dimensionales) y una dependiente que permiten estimar componentes como el volumen, biomasa o carbono (Montoya, 2017). Con el uso de estos modelos se estima el almacenamiento de C en formaciones vegetales forestales. Para su uso los datos deben cumplir los supuestos de normalidad, independencia y homogeneidad de varianzas. En caso de no cumplirse en algún componente, se transforman usando logaritmos (naturales y en base 10), potencias y raíces; en caso de no ser posible su transformación se usarán modelos de regresión no lineal (Segura y Andrade, 2008).

Para la formulación de modelos alométricos el primer aspecto a tomar en cuenta es la descripción del ecosistema y selección de las especies de interés, determinación del tamaño de la muestra, selección de individuos por muestrear, medición, y estimación de la biomasa o carbono por árbol y finalmente se realiza la selección de los mejores modelos alométricos (Segura y Andrade, 2008). El primer aspecto a tomar en cuenta es la estructura y las condiciones del ecosistema, donde los modelos son específicos y deberían realizarse para cada tipo de ecosistema, zona de vida, especie o grupo de especies, debido a la variabilidad en cada formación vegetal (Montoya, 2017).

Para la generación de una ecuación alométrica se calculan los promedios, desviación estándar, valores máximos y mínimos de los datos colectados, se analiza de igual manera la correlación (R) entre las variables independientes y en las variables de biomasa de cada componente.

Para la selección del mejor ajuste se debe tener presente el coeficiente de determinación (R^2), este expresa la cantidad de variación de la variable dependiente que posee en relación con las variables independientes. Cuanto más próximo a uno es el valor de R^2 , mejor es el ajuste. Otro de los parámetros que se puede utilizar para seleccionar una ecuación se refiere al Cuadrado Medio del Error (CME), que se refiere a una medida relativa, que permite comparar la dispersión entre dos poblaciones, o la variación de dos variables. Cuanto menor es el valor de CME, mejor es el modelo (Rügnitz *et al.*, 2009; Segura y Andrade, 2008).

La ventaja más relevante del uso de los modelos alométricos es que se limitan las actividades destructivas y se estima la variable independiente a partir de datos de inventarios forestales. Por otro lado, la desventaja errada en que las ecuaciones se concentra en el uso de un grupo de individuos o especies, y no es conveniente generalizar una ecuación para todos los tipos de vegetación (Gayoso, Guerra, y Alarcón, 2002).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del sitio

La investigación se la realizó mediante dos fases, campo y laboratorio.

3.1.1. Fase de campo

La investigación se realizó en la provincia de Imbabura en la zona de Intag, en la comunidad Nangulví Alto de la parroquia Peñaherrera, a 59,4 km al noroeste de la cabecera cantonal de Cotacachi, en los predios del señor Gustavo León. El bosque de aproximadamente 18 años se ubica en las coordenadas 0°20'23,815"N, 78°33'42,601" W, con una altitud de 1798 msnm y una extensión de 8,15 ha; mientras que el bosque de 30 años se encuentra en las coordenadas 0°20'21.311"N, 78°33'35.731" W y una altitud de 1826 msnm con una extensión de 5,39 ha (Figura 3). El bosque está catalogado como siempre verde piemontano de Cordillera Occidental de los Andes, según la clasificación de ecosistemas del Ecuador (MAE, 2018).

Mediante una visita *in situ* se identificaron las diferencias entre cada bosque en composición y estructura, datos que se fueron validados mediante el uso de imágenes aéreas captadas con dron de precisión. Con respecto al conocimiento del uso anterior del área se la obtuvo a través de conversación con el propietario, indicando que su uso fue pastoreo y que el abandono se dio progresivamente, por tal motivo la estructura y composición de los bosques difieren entre ellos.

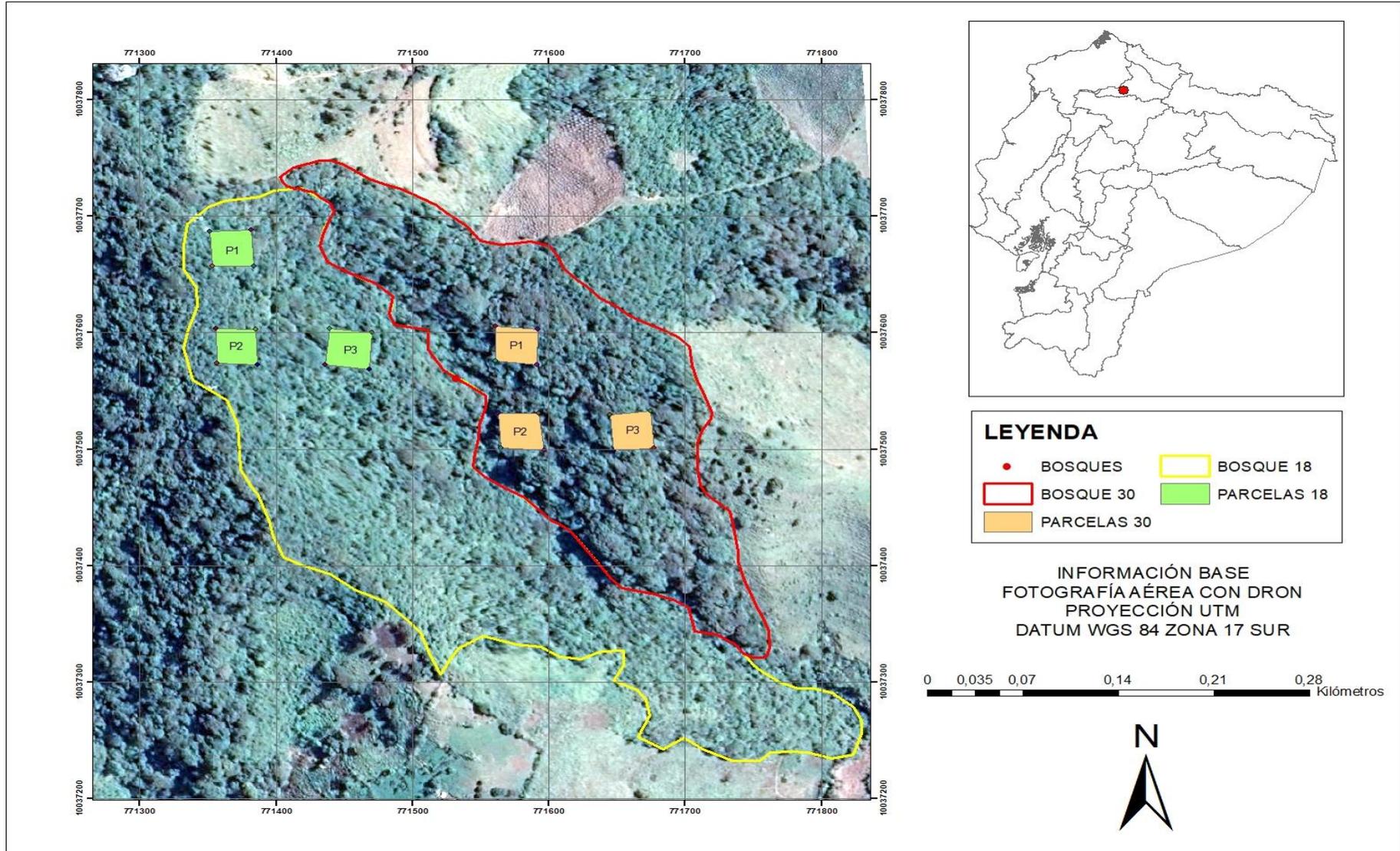


Figura 3. Ubicación de los bosques

Al interior de cada bosque se establecieron tres parcelas, encontrándose en las coordenadas que se aprecian en la tabla 1.

Tabla 1

Coordenadas UTM de las parcelas por Bosque (DATUM WGS 84 ZONA 17 SUR)

Edad del bosque	Número de parcela	Coordenadas		Altitud (msnm)
		X (m)	Y (m)	
Bosque de 18 años	1	771352	10037688	1803
		771353	10037657	
		771384	10037656	
		771383	10037687	
	2	771356	10037604	1787
		771358	10037574	
		771386	10037572	
		771385	10037603	
	3	771439	10037603	1773
		771437	10037572	
		771468	10037568	
		771471	10037600	
Bosque de 30 años	1	771561	10037606	1845
		771561	10037577	
		771591	10037572	
		771593	10037603	
	2	771563	10037530	1807
		771566	10037500	
		771596	10037499	
		771593	10037530	
	3	771645	10037529	1815
		771648	10037498	
		771677	10037501	
		771675	10037533	

3.1.2. Datos climáticos

La temperatura media anual de la parroquia Peñaherrera es de 17 °C y la precipitación media anual es de 1284,60 mm, siendo abril y mayo los meses más lluviosos, mientras que agosto el de menor precipitación. Se tiene un clima subtropical (GADP Peñaherrera, 2015).

3.1.3. Laboratorio

Los cálculos y procesos de evaluaciones se realizaron en predios de la UTN, tanto en el campus Hospital San Vicente en las instalaciones del laboratorio de análisis físico, químico y

microbiológico y en la Granja Yuyucocha, en el Laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca.

3.2. Materiales y equipos

Cada fase de la investigación tuvo el uso de varios materiales, equipos y softwares, cada uno con sus especificaciones y características propias, mismas que se detallan en las tablas 2 y 3.

Tabla 2

Materiales utilizados en la investigación

Materiales		
Estacas	Tazos	Fundas plásticas
Piola	Hojas de campo	Fundas de papel
Cuerdas	Marcadores permanentes	Papel periódico y cartón
Pintura	Tijeras de podar	Pie de rey
Laca	Machete	Útiles de escritorio

Tabla 3

Equipos y softwares utilizados en la investigación

Equipos y softwares	
Equipos	Características
Dron	Precisión de +- 0,3m, Sensor 1'' CMOS, Rango ISO foto: 100 – 12 800, tamaño fotografía: 5472x3648
Navegador GPS eTrex 10	Precisión < 10m, uso de satélites GPS y GLONASS
Brújula	Precisión de 0,50 grados, material plástico
Cinta métrica	Precisión de 1 mm, material nailon, marca forestry supplies
Clinómetro digital	Precisión 1 mm, material plástico, marca Häglof
Balanza digital portátil	Precisión 1gr, material plástico y vidrio, marca Camry
Taladro de pressler	Ancho de boca 5 mm, material metal, marca Häglof
Horno de secado automático	Marca Memmert, regulación de 0 - 320°C
Balanza de precisión	Pesaje desde 0.0001 g hasta 120 g, escala de 0,10 mg
Computador	Asus, Core i5
Cámara fotográfica	Cámara de Smartphone
Softwares	Características
ArcMap 10.3	Licencia estudiantil UTN
InfoStat	Versión estudiantil
Microsoft 2016	Licencia educativa UTN

3.3. Metodología

3.3.1. Delimitación del área de estudio

Para determinar la biomasa y el carbono almacenado se utilizó el método no destructivo, en base a la metodología que expone Fonseca, Alice, Montero, Toruño y Leblanc (2008) misma que hace referencia a la utilizada por el MAE en la Evaluación Nacional.

Para el establecimiento de las parcelas se tomó como base la metodología utilizada en la Evaluación Nacional Forestal realizada por el MAE en el 2014, pero debido a las condiciones del sitio de estudio se realizaron modificaciones para ajustarlas a la realidad. Se ubicaron 3 parcelas de forma cuadrada, las principales de dimensiones 30 x 30 m, ubicadas en forma de “L” separadas 50 m, de forma aleatoria al interior de los bosques y direccionadas al Norte, en su interior poseen dos parcelas anidadas, la primera de forma cuadra de 10 x 10 m ubicadas en la esquina inferior derecha (sur este) y finalmente en su interior la segunda parcela anidada de forma circular con un diámetro de 5 m, ubicando su centro en las intersecciones de las diagonales de la parcela de 10 x 10 m (Figura 4).

Para el análisis del carbono presente en la materia muerta sobre el suelo (detritus), se establecieron parcelas anidadas en cada una de las parcelas principales, ubicadas aleatoriamente en cada una de estas, teniendo un análisis del sitio. Estas parcelas tenían un área de 0,25 m², es decir de 50 x 50 cm.

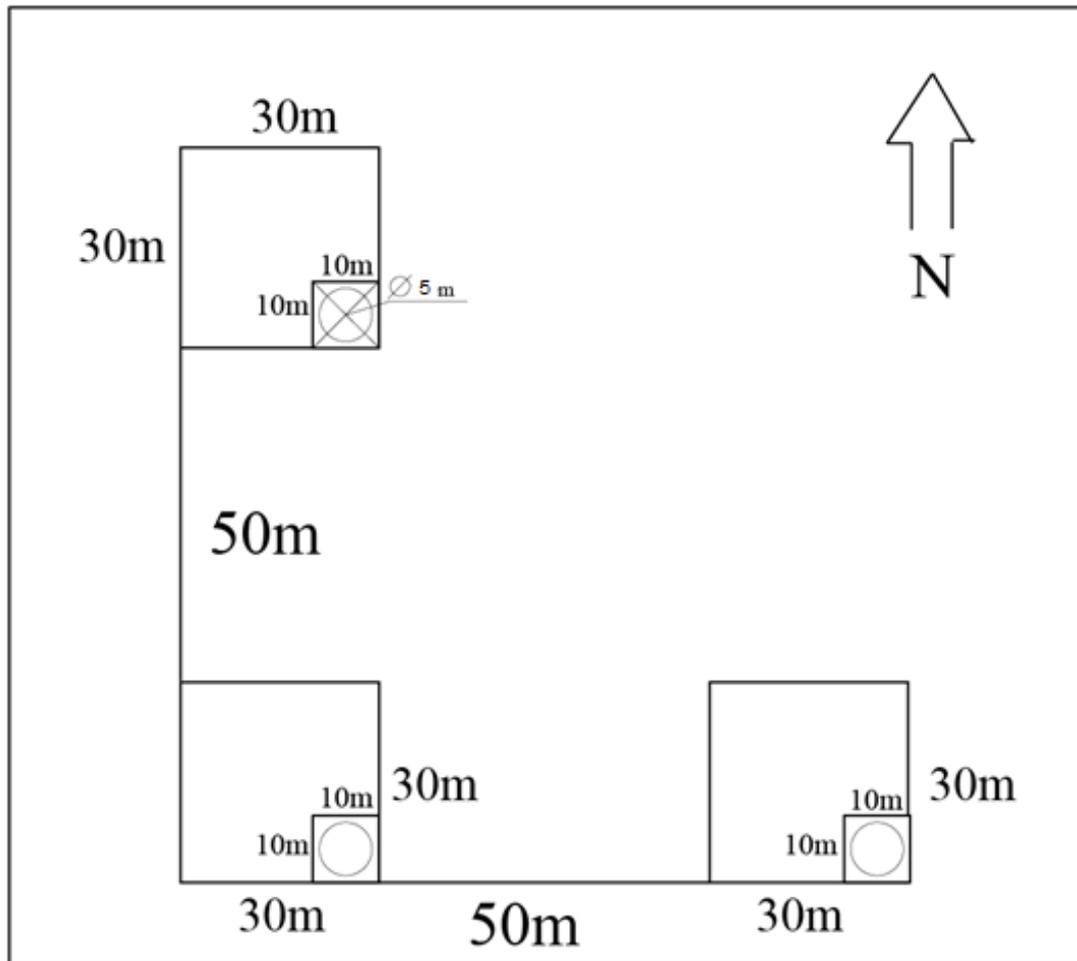


Figura 4. *Distribución de las parcelas en cada bosque*

3.3.2. Inventario

Se tomaron datos del diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (H_T) y comercial (H_C) de cada árbol que se encuentran al interior de cada parcela. En cada parcela se tomaron datos de árboles vivos y muertos en pie. En la parcela principal de 30 x 30 m se tomaron los árboles mayores a 20 cm de DAP, en la siguiente parcela se tomaron datos de los árboles que tuvieron un DAP entre 10 y 19,99 cm. En la parcela circular se obtuvieron datos de los árboles que tengan diámetros entre 1 y 9,99 cm. Cada individuo fue codificado con una señalética a la altura de 1,30 m, ubicando un tazó con datos del bosque, parcela, tamaño de la parcela y número del individuo, de la siguiente manera (B18P1-30 (3)), esta codificación sirvió para identificarlos en las hojas de campo y tener un mejor entendimiento (Anexo 1). Para la identificación de las especies encontradas en cada bosque, se obtuvo una colección botánica.

Con los datos del inventario se determinó el volumen total y comercial de cada individuo, utilizando el DAP y la altura tanto total y comercial (H_T y H_C). Para el DAP se tomaron datos a 1,30 m desde la superficie más baja y utilizando cinta diamétrica. Para el caso de la altura total, se utilizaron clinómetros, tomando como puntos de referencia la base del árbol y la parte más alta (ápice). Para la altura comercial se utilizó la base del árbol y la primera bifurcación considerable; se utilizaron las ecuaciones 1 y 2 para el volumen (MAE, MFSCC, y FAO, 2014).

$$V = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times (DAP^2) \times H_T \times 0,7 \quad \text{Ec. 1}$$

Fuente: Segura y Andrade, (2008)

Donde:

V: volumen total del árbol (m^3)

DAP: Diámetros a la altura del pecho (m)

H_T : Altura total (m)

$$V = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times (DAP^2) \times H_C \times 0,7$$

Fuente: Segura y Andrade, (2008)

Donde:

V: volumen total del árbol (m^3)

DAP: Diámetros a la altura del pecho (m)

H_C : Altura comercial (m)

Ec. 2

3.3.3. Determinación de la biomasa

Para este apartado se utilizaron los árboles seleccionados del inventario, y se realizaron los análisis necesarios para cada componente, tal y como se indica a continuación:

- Fuste

Con respecto al fuste de árboles vivos se ocupó el barrenado de Pressler en los árboles determinados. Se tomó la muestra a la altura del pecho (DAP 1,30 m), precautelando que la muestra tenga una homogeneidad en la estructura de todos los árboles. Esta muestra fue empaquetada y etiquetada, para ser llevada al Laboratorio de análisis físico químico y microbiológico de la UTN, es aquí donde se pesó en verde y de igual manera se calculó el volumen en verde de la muestra, donde se midió la longitud de la muestra con un pie de rey y

el diámetro interno del barrenado de Pressler (5 mm). Posteriormente se sometieron a un proceso de secado utilizando el horno de secado por 48 horas a 75 °C, obteniendo su peso seco y por ende la densidad básica con la aplicación de las ecuaciones 3 y 4 (Guachamin, 2017).

$$Vv = \pi \times (D^2) \times \left(\frac{L}{4}\right)$$

Fuente: Collahuazo y Taicud, (2008)

Ec. 3

Donde:

Vv: Volumen verde (m³)
D: Diámetro interno (5 mm)
L: Longitud de la muestra (m)

$$Db = \left(\frac{Po}{Vv}\right)$$

Fuente: Collahuazo y Taicud, (2008)

Ec. 4

Donde:

Db = Densidad básica (kg/m³)
Po = Peso anhidro (kg)
Vv = Volumen verde (m³)

Finalmente se obtuvo la biomasa total del fuste de cada árbol multiplicando la densidad básica con el volumen comercial calculado en base al inventario.

- Ramas y hojas

De cada árbol seleccionado se obtuvo una rama, se tomó la longitud y el diámetro de cada rama obtenida para obtener su volumen. Con respecto a las hojas se las obtuvieron de la rama y para los dos componentes se obtuvo el peso en verde y posteriormente se los sometió al proceso de secado en el laboratorio, con el fin de determinar el contenido de humedad para lo que se utilizó la ecuación 5.

$$CH = \frac{PV-PS}{PS} \times 100$$

Fuente: MAE *et al.*, (2014)

Ec. 5

Donde:

CH: Contenido de humedad %
PV: Peso verde (g)
PS: Peso seco (g)

Para la determinación de la biomasa se utilizó el Factor de Expansión de Biomasa (FEB) teniendo presente la metodología utilizada por Cuenca, Jadán, Cueva y Aguirre, (2014), donde

se utilizaron nueve grupos teniendo como variables de clasificación a la densidad de las especies, y la altura comercial, los grupos se pueden apreciar en la tabla 4:

Tabla 4

Grupos de especies

GRUPO	ALTURA COMERCIAL	DENSIDAD
G1	< 3 m	< 500 kg.m ⁻³
G2	< 3 m	≥ 500 kg.m ⁻³
G3	< 3 m	≥ 700 kg.m ⁻³
G4	≥ 3 m	< 500 kg.m ⁻³
G5	≥ 3 m	≥ 500 kg.m ⁻³
G6	≥ 3 m	≥ 700 kg.m ⁻³
G7	≥ 7 m	< 500 kg.m ⁻³
G8	≥ 7 m	≥ 500 kg.m ⁻³
G9	≥ 7 m	≥ 700 kg.m ⁻³

Fuente: Cuenca, Jadán, Cueva, Aguirre, (2014)

Con los grupos detallados se utilizaron los factores de expansión promedios para los grupos de especies evaluados, tal y como se aprecia en la tabla 5:

Tabla 5

Valores del FEB

VARIABLE	GRUPOS	MEDIA
FEB	G1	2,08
	G2	2,09
	G3	2,21
	G4	1,99
	G5	2,05
	G6	2,04
	G7	1,86
	G8	1,96
	G9	2,02

Fuente: Cuenca, Jadán, Cueva, Aguirre, (2014)

- Detritus

Se tomó en cuenta al detritus como todo el material orgánico caído en el suelo, inferior a 10 cm y mayor de 2 mm de diámetro (MAE *et al.*, 2014). Se tomó una muestra del material presente en la parcela, este se pesó al momento de su recolección (en verde), seguidamente se obtuvo una submuestra de 500 g, para su análisis. Se realizó el proceso de secado para obtener los datos necesarios para el cálculo de la biomasa.

Este cálculo de la biomasa y el carbono almacenado en los detritus se lo realizó mediante el uso de las ecuaciones 6 y 7, teniendo presente que para el caso de hojarasca, el coeficiente de transformación de la biomasa a carbono sugerido por IPCC es 0,44 (MAE *et al.*, 2014).

$$Yd = ps \times \left(\frac{pf}{pfl} \right)$$

Fuente: MAE *et al.*, (2014)

Ec. 6

Donde:

Yd: Biomasa de detritus (kg.ha⁻¹)

ps: peso seco de la submuestra (g)

pf: peso fresco total de la muestra obtenida en la parcela (g)

pfl: peso fresco de la submuestra (g)

$$C = Yd \times 0,44$$

Fuente: Tanabe y Wagner (2003)

Ec. 7

Donde:

C: Carbono total de detritus (MgC.ha⁻¹)

Yd: Biomasa detritus (kg)

- Biomasa y carbono total

Una vez obtenidos los pesos verdes y secos de componente y su cantidad de biomasa por componente, se sumaron los resultados de estos (fustes, ramas, hojas y detritus), tal y como se aprecia en la ecuación 8.

$$Y = Br + Bf$$

Fuente: Guachamin, (2017)

Ec. 8

Donde:

Y: Biomasa por individuo (g)

Br: Bioma de las ramas(g)

Bf: Bioma del fuste(g)

Con el dato de la biomasa obtenido de los bosques se multiplicó por el índice de conversión 0,50 indicado por el IPCC. Para obtener el contenido de C se aplicó la ecuación 9.

$$C = Y \times 0,50$$

Fuente: Tanabe y Wagner (2003)

Ec. 9

Donde:

C: Carbono total por individuo (MgC.ha⁻¹)

Y: Biomasa por individuo (g)

Para finalizar se suman los datos del carbono de los individuos y de los detritus para obtener el total almacenado por el bosque.

- Suelo

Se tomó muestras de suelo de los 10 primeros centímetros de profundidad, los mismos que se obtuvo una muestra de 500 g esta muestra se la sometió al proceso de secado para obtener la densidad básica del suelo y de esta manera, luego de haber obtenido el porcentaje de carbono del suelo mediante análisis de laboratorio, se utilizó la ecuación 10.

$$COS = p \times DA \times C_{total}$$

Fuente: IPCC (2006)

Ec. 10

Donde:

COS: Carbono orgánico del suelo (kg.m²)

p: Profundidad

DA: Densidad aparente

C_{total}: Porcentaje de carbono

3.3.4. Construcción de modelos alométricos

Se construyeron las fórmulas alométricas, en base a la metodología utilizada por (Acosta, Vargas, Velásquez, y Etchevers, 2002) en donde se realizaron regresiones simples y múltiples para observar cuál posee un mejor ajuste. Este análisis estuvo basado al R², el

coeficiente de Mallows y el cuadrado medio del error (CEM) debido a que la regresión múltiple posee ciertas características propias.

Con los datos obtenidos mediante el trabajo de campo, se utilizó el software estadístico InfoStat, realizando regresiones y observando el nivel de correlación de cada variable independiente para encontrar el modelo de mejor ajuste. Para finalmente tener un análisis de los datos predichos con los observados y ver el nivel de dispersión de estos.

3.3.5. Determinación del carbono del bosque

Con los datos obtenidos en el inventario y la fórmula que posee el mejor ajuste de la modelación matemática, se calculó la biomasa del bosque interpolando los resultados a hectárea (ha) y de igual manera al total del área del bosque.

Con la determinación del carbono total de cada bosque se utilizó para obtener la tasa de fijación de los bosques secundarios en los tiempos de transición de cada bosque, siendo 12 años.

3.3.6. Comparación entre bosques

Obtenidos los datos de carbono de cada bosque, se utilizó una inferencia basada en dos muestras independientes mediante la prueba de *t de student* haciendo uso del software InfoStat, los datos utilizados fueron las medias de cada bosque, los grados de libertad y el valor de *p* mismo que es determinante para conocer que la estructura y la composición, se convierte en un factor crucial en la cantidad de carbono almacenado por la vegetación arbustiva.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Establecimiento y delimitación del área de estudio

Teniendo presente que el área de estudio es relativamente pequeña en comparación con el análisis realizado por el MAE en la evaluación nacional, se redujo el tamaño de las parcelas en relación del tamaño del bosque y el tamaño de las parcelas. Por tal motivo se establecieron parcelas de 30 x 30 m. donde se ubicaron dos parcelas anidadas en la esquina sureste de la principal. Estas parcelas se las establecieron teniendo presente el porcentaje de pendiente que en algunos casos eran 45%, para todos los casos se realizaron las respectivas compensaciones de pendientes, para que las dimensiones sean las adecuadas al momento del análisis (Imaña, 2011).

El diseño y la ubicación de las parcelas en forma de L se definió con la idea de tener un acceso y desplazamiento fácil entre ellas, al igual que obtener mayor cantidad de información sin elevar en gran medida los costos de establecimiento y análisis de datos. De la misma manera este tipo de diseño presenta facilidades para el trazado y establecimiento en áreas de ladera y montaña, otro de los puntos a favor de este tipo de diseño es la reducción de impactos en el área debido a que no se ejecutan caminos extras de los que unen a las parcelas (MAE 2012 citados por MAE *et al.*, 2014).

Se indica que en la investigación de Fonseca *et al.* (2008), Gayosso *et al.* (2002), Lapeyre *et al.* (2004) y Mena (2008) se analiza el carbono aéreo, sin embargo, las condiciones de los bosques secundarios en esas investigaciones son diferentes a las del área de estudio. Los parámetros tomados en cuenta son la temperatura, precipitación, uso anterior del suelo, tipo del suelo y edad de regeneración del bosque, estos datos sirvieron como base para un análisis de los resultados obtenidos en la investigación.

4.2. Estadística de los parámetros de forma de los árboles

El promedio del DAP y de la H_T de los árboles en el bosque de 18 años fue de 0,09 m y 7,10 m respectivamente, mientras que en el bosque de 30 años el promedio de estos parámetros fue en el DAP de 0,23 m y de la H_T un promedio de 9,75 m. Con estos datos se pueden realizar inferencias estadísticas (Tabla 6), en donde se indica que se posee una dispersión de los datos. Esto se debe a la amplitud en los datos tanto en altura y diámetro, ya que se poseen alturas desde 1 hasta 19 m, lo mismo sucede en el DAP donde se posee diámetros que varían desde 0,01 hasta 0,37 m, en el bosque de 18 años. El bosque de 30 años se tiene una similitud en la dispersión teniendo una variación desde 2 hasta los 18 m en la altura, y una variación desde 0,02 hasta los 0,74 m en el DAP. Estos datos dispersos se deben tanto a la estructura y las edades de los bosques. Estos resultados se asemejan a los encontrados en la investigación realizada por Andrade y Segura (2008), donde mencionan que, si los datos muestran heterogeneidad y un coeficiente de variación alto, se debe a la estructura y composición de cada bosque.

Tabla 6

Estadísticas descriptivas de los parámetros de forma de los árboles

VARIABLES	MEDIA (m)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	ERROR ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
DAP (18)	0,09	0,09	0,01	93,50%
HT (18)	7,10	4,60	0,46	66,21 %
DAP (30)	0,23	0,13	0,01	57,48%
HT (30)	9,75	15,62	0,37	40,52%

4.3. Modelos alométricos para la estimación del carbono aéreo

Los modelos alométricos fueron realizados para cada parcela, clase diamétrica y para el bosque completo. Las variables que se utilizaron fueron el DAP, H_t y densidad, teniendo presente el nivel de correlación con el carbono almacenado procurando que el valor del error

sea menor a 0,01. Cada variable independiente fue analizada de forma lineal para encontrar el mejor ajuste. Las variables indicadas fueron las de mayor correlación con respecto al carbono, donde varias investigaciones los utilizan, como es el caso del análisis del carbono en tres bosques en la zona del Chocó de Colombia, donde se utilizaron el DAP, la H_t y la densidad de la madera (Torres, Mena, y Álvarez, 2017). En la evaluación nacional se menciona que al no existir ecuaciones para estimar el carbono aéreo almacenado establecidas para los bosques del país se utilizaron ecuaciones registradas con anterioridad donde todas estas ecuaciones poseen las variables DAP y la densidad, descartando la altura debido a las diferencias que existen entre cada estrato de los bosques (MAE *et al.*, 2014).

4.3.1. Bosque 18 años

Para determinar el mejor modelo de la estimación del carbono aéreo se utilizó tres modelos, las mismas que se exponen a continuación:

- Por parcela

Se utilizaron los datos del inventario y la recolección de muestras realizado a los individuos de estudio, por tal motivo se realizó el análisis correspondiente y dando como resultado las siguientes ecuaciones que se exponen para cada parcela en la tabla 7:

Tabla 7

Modelos alométricos por parcela bosque 18 años

Parcela	Modelo	R²	CME
Parcela 1	$C = -0,04 + [139,87 \times (DAP^2 \times Ht)]$	0,94	1,86
Parcela 2	$C = -9,64 + [270,47 \times (DAP^2 \times Ht)] + [1208,91 \times (DAP^3 \times Ht)]$ $- (24264,75 \times DAP^3) + (0,03 \times \delta)$	1,00	77,53
Parcela 3	$C = -15,41 + [119,50 \times (DAP^2 \times Ht)] + (0,05 \times \delta)$	0,98	3,71

R²: Coeficiente de determinación, **CME**: Cuadrado medio del error, **C**: Carbono, **DAP**: diámetro a la altura del pecho, **δ**: densidad, **Ht**: altura total.

- Por clase diamétrica

Debido a la variación en los datos de cada parcela, se optó por realizar una modelación por clases diamétricas, dando como resultado ecuaciones con mejor ajuste teniendo presente la homogeneidad de los datos, es así como tenemos las ecuaciones que se aprecian en la tabla 8:

Tabla 8

Modelos alométricos por clase diamétrica bosque 18 años

Clases diamétricas (DAP)	Modelo	R ²	CME
> 20 cm	$C = -556,77 + (0,95 \times \delta) + [253,14 \times (DAP^2 \times Ht)]$	1,00	7,53
10 – 20 cm	$C = -20,72 + (0,04 \times \delta) + [171,92 \times (DAP^2 \times Ht)]$	0,95	6,29
1 – 10 cm	$C = 0,04 + [111,20 \times (DAP^2 \times Ht)] + [0,04 \times (DAP \times Ht^3)]$	0,95	0,89

R²: Coeficiente de determinación, **CME**: Cuadrado medio del error, **C**: Carbono, **DAP**: diámetro a la altura del pecho, **δ**: densidad, **Ht**: altura total.

- Por bosque

Para finalizar se realizó una modelación con los datos de las tres parcelas realizadas en el bosque, esto para obtener una ecuación que permita obtener el carbono total almacenado por la vegetación arbustiva, dando como resultado la ecuación que se aprecia en la tabla 9:

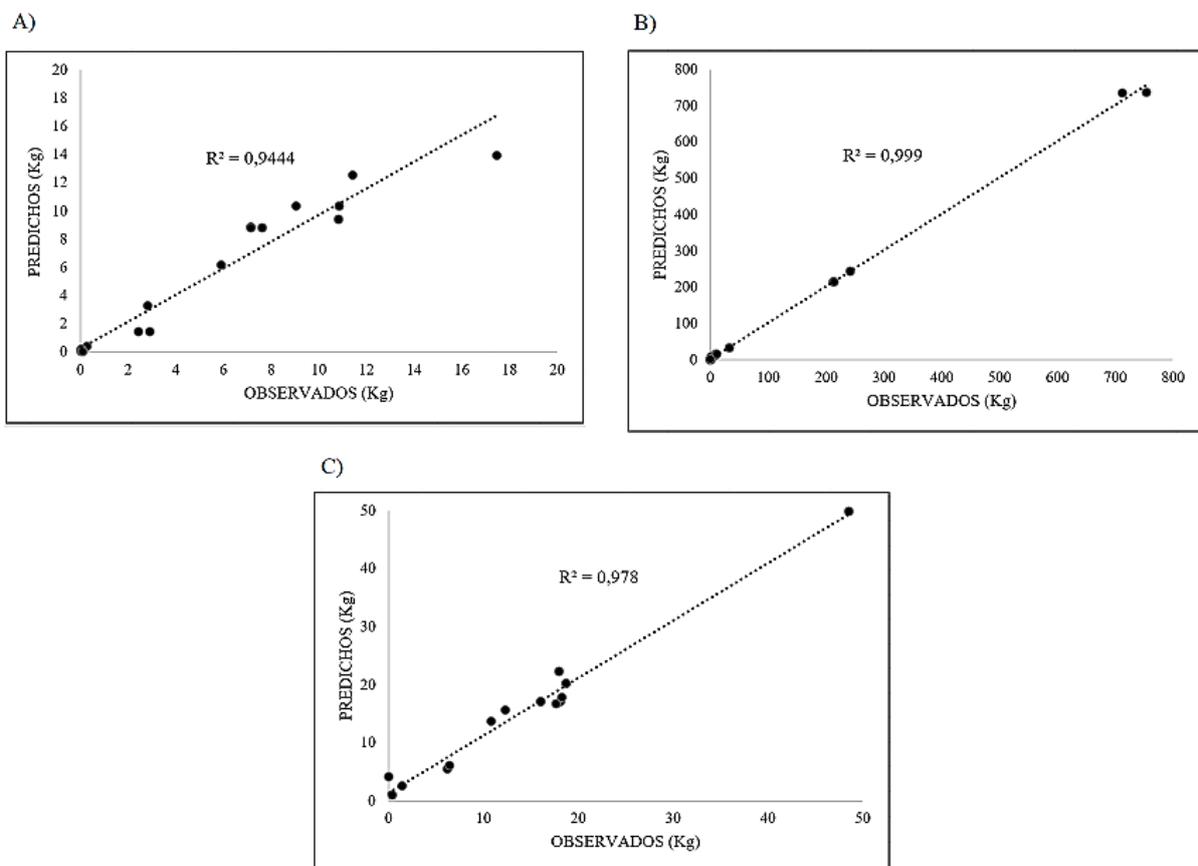
Tabla 9

Modelos alométricos para el bosque de 18 años

Bosque	Modelo	R ²	CME
18 años	$C = -10,55 + (0,03 \times \delta) + (4654,47 \times DAP^2) - (29833,83 \times DAP^2) - [30,36 \times (DAP \times Ht)] + [1605,29 \times (DAP^3 \times Ht)] + [0,11 \times (DAP \times Ht^3)]$	1,00	30,09

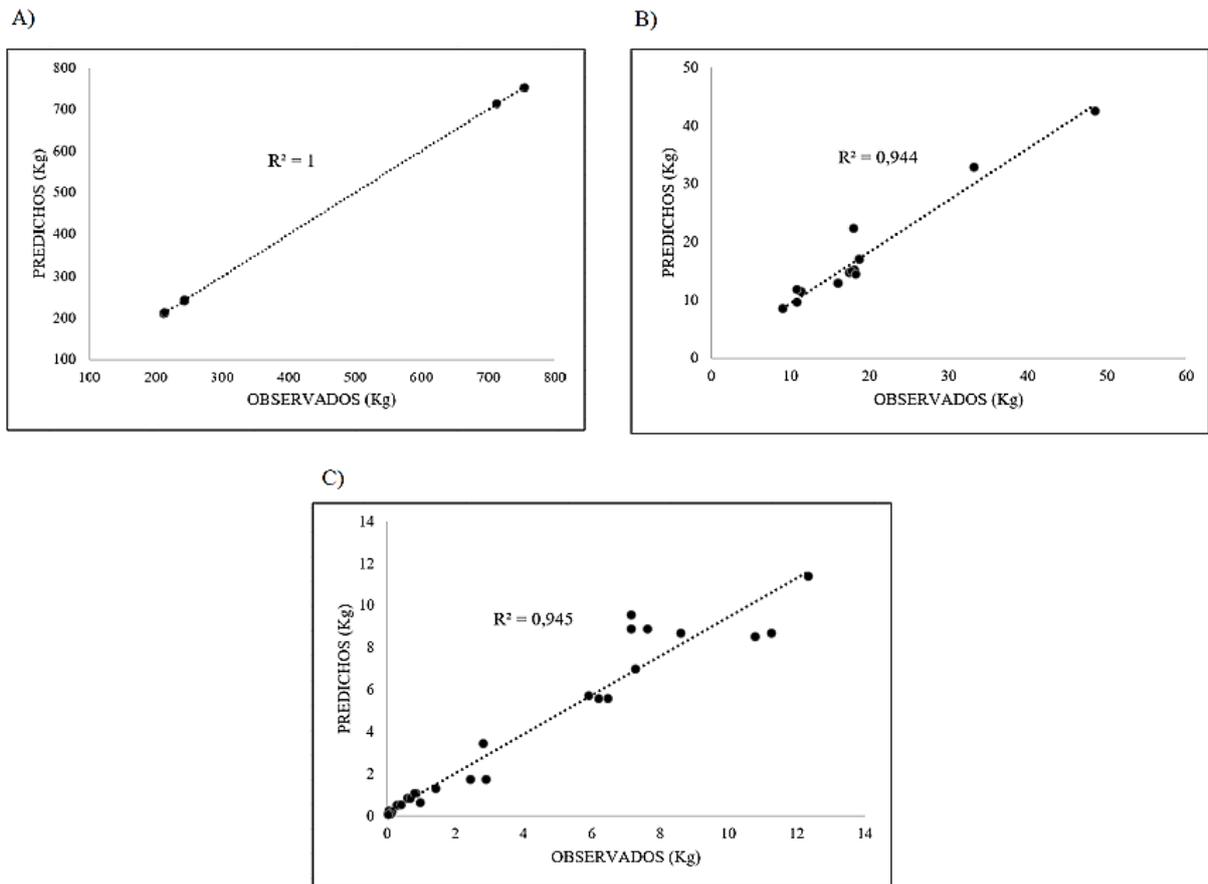
R²: Coeficiente de determinación, **CME**: Cuadrado medio del error, **C**: Carbono, **DAP**: diámetro a la altura del pecho, **δ**: densidad, **Ht**: altura total.

Tal y como se pudo apreciar anteriormente en las tablas 7, 8 y 9, se utilizó el mejor modelo que posee el coeficiente de determinación más cercano a 1, al igual que presente el menor cuadrado medio del error y coeficiente Mallows con mayor valor. Los datos predichos con las ecuaciones arrojan valores similares a los calculados con los datos observados, indicando que se posee un buen ajuste y se los puede utilizar con certeza (CIRAD y FAO, 2012 citado por España, 2016). Estos valores y ecuaciones son concordantes en la estructura de modelos generados en otras investigaciones como es el caso de Andrade y Segura (2008), Fonseca *et al.*, (2008) y Torres *et al.*, (2017). Con los datos de carbono obtenidos a partir de los modelos se elaboró el gráfico de dispersión de los valores observados versus los valores predichos del carbono, dando como resultados gráficos que confirman la funcionalidad de cada modelo realizado, tal y como se aprecia en las figuras 5, 6 y 7.



A: Parcela 1; **B:** Parcela 2; **C:** Parcela 3

Figura 5. Valores predichos versus los valores observados por parcela bosque 18 años



A: Clase diamétrica >20 cm; **B:** Clase diamétrica 10 - 20 cm; **C:** Clase diamétrica 1 - 10 cm

Figura 6. Valores predichos versus los valores observados para cada clase diamétrica bosque 18 años

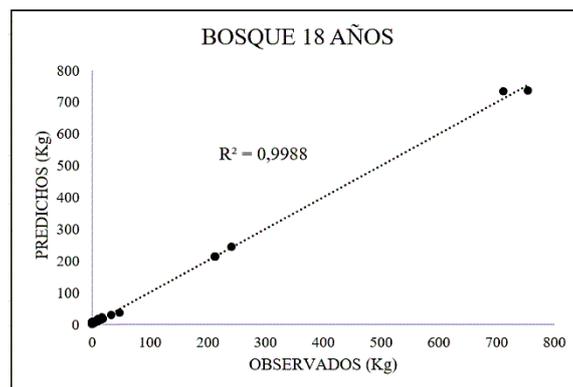


Figura 7. Valores predichos versus los valores observados para el bosque 18 años

Por lo expuesto anteriormente, se determinó que para el bosque de 18 años la mejor alternativa para la estimación del carbono aéreo es realizar ecuaciones alométricas utilizando clases diamétricas, siendo estos modelos los que presentaron un mejor ajuste del R^2 y un menor

CEM. Los modelos de mejor predicción del carbono aéreo son aquellas que son lineales (Schlegel, 2001 citado por España, 2016), y según la cantidad de variables que se utilicen mejor será el ajuste y las estimaciones serán más exactas, teniendo presente el nivel de correlación de cada variable (España, 2016; Schlegel *et al.*, 2000; Segura y Andrade, 2008).

4.3.2. Bosque 30 años

Para determinar el mejor modelo para la estimación del carbono aéreo al igual que el bosque de 18 años se dividió en tres modelaciones:

- Por parcela

Se utilizaron los datos del inventario, por tal motivo se realizó el análisis correspondiente dando como resultado las siguientes ecuaciones representadas en la tabla 10:

Tabla 10

Modelos alométricos por parcela bosque 30 años

Parcela	Modelo	R ²	CME
Parcela 1	$C = -2,35 - (0,30 \times Ht^3) + [67,55 \times (DAP \times Ht)] + [0,35 \times (DAP \times Ht^3)] + [1123,87 \times (DAP^3 \ln Ht)] + [1,09 \times (Ht^2 \times 1/\log DAP)]$	0,97	2618,24
Parcela 2	$C = 3974,74 + [276437,78 \times (DAP^2 \times Ht)] - [2694,93 \times (DAP \times Ht^2)] - [10,68 \times (DAP \times Ht^3)] + (0,22 \times \delta) + [324441,33 \times (DAP \log Ht)] - [730440,47 \times (DAP^2 \ln Ht)] - [537078,52 \times (DAP^2 \times 1/\log Ht)] - [1485490,44 \times (DAP^3 \ln Ht)] + [2731496,27 \times (DAP^3 \times 1/\log Ht)] + [4285,68 \times (Ht \times 1/\log DAP)] - [119,31 \times (Ht^2 \times 1/\log DAP)] - [21,51 \times (Ht^3 \log DAP)]$	1,00	72,36
Parcela 3	$C = -53,77 + [160,39 \times (DAP^2 \times Ht)] + (0,02 \times \delta) - [40,39 \times (Ht \times 1/\log DAP)] + [6,73 \times (Ht^2 \times 1/\log DAP)] - [0,01 \times (Ht^3 \ln DAP)] - [0,27 \times (Ht^3 \times 1/\log DAP)]$	1,00	0,66

R²: Coeficiente de determinación, **CME**: Cuadrado medio del error, **C**: Carbono, **ln**: logaritmo natural,

log: logaritmo base 10, **DAP**: diámetro a la altura del pecho, **δ**: densidad, **Ht**: altura total.

- Por clase diamétrica

Debido a la variación de los datos de cada parcela principal y anidada, se optó por realizar una modelación por clases diamétricas, dando como resultado ecuaciones con mejor ajuste observando la homogeneidad de los datos, es así como tenemos los datos de la tabla 11:

Tabla 11

Modelos alométricos por clase diamétrica bosque 30 años

Clases diamétricas (DAP)	Modelo	R ²	CME
> 20 cm	$C = -1238,99 + (7,03 \times Ht^2) - (574,29 \times 1/\log DAP) - (87,02 \times Ht \log DAP) - [462,79 \times (DAP^2 \times Ht)] + [12,37 \times (Ht^2 \log DAP)] + (0,51 \times \delta)$	0,96	2693,05
10 – 20 cm	$C = -11,43 + (0,03 \times \delta) + [140,30 \times (DAP^2 \times Ht)]$	0,91	0,47
1 – 10 cm	$C = -0,20 + [99,91 \times (DAP^2 \times Ht)] + [0,00078 \times (\delta)]$	0,81	0,03

R²: Coeficiente de determinación, **CME:** Cuadrado medio del error, **C:** Carbono, **log:** logaritmo base 10, **DAP:** diámetro a la altura del pecho, **δ:** densidad, **Ht:** altura total.

- Por bosque

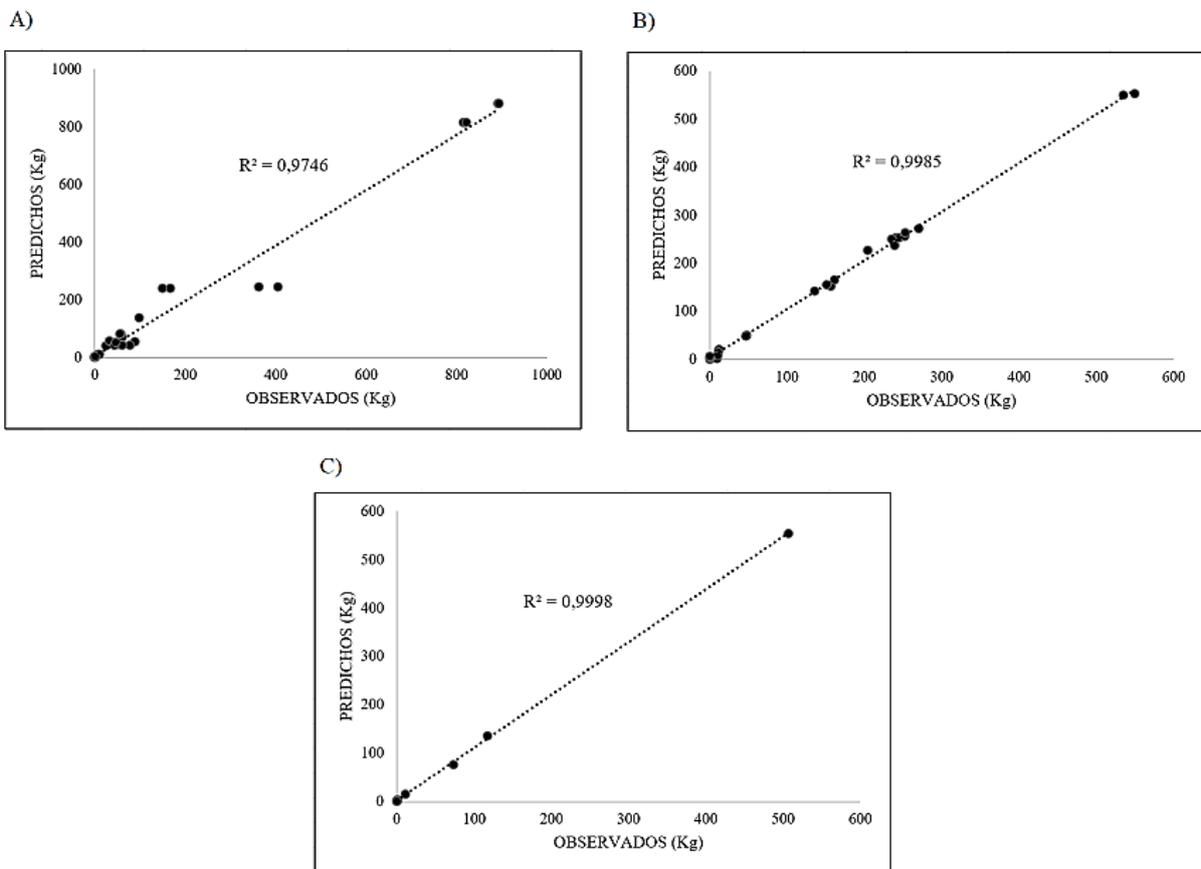
Para finalizar se realizó una modelación con los datos de las tres parcelas realizadas en el bosque, esto para obtener una ecuación que permita obtener el carbono total almacenado, dando como resultado la siguiente ecuación expresada en la tabla 12:

Tabla 12

Modelos alométricos para el bosque de 30 años

Bosque	Modelo	R ²	CME
30 años	$C = -1519,95 - [6779,05 \times (DAP^2 \times Ht)] + (0,39 \times \delta) - (3478,98 \times DAP) - (42065,82 \times DAP^3) - (0,50 \times Ht^3) - (2487,91 \times 1/\log DAP) - [2158,19 \times (DAP \times Ht)] + [131,30 \times (DAP \times Ht^2)] + (120483,05 \times DAP^2 \log Ht) - [32901,21 \times (DAP^2 \times 1/\log DAP)] - [4,12 \times (Ht^2 \log DAP)]$	0,97	2056,22

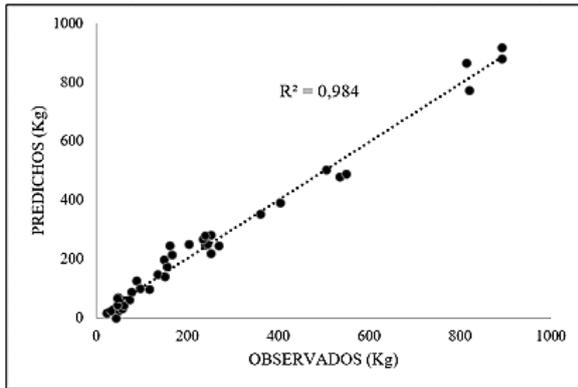
Para el bosque de 30 años al igual que para el bosque de 18 años, la mejor opción para la estimación del carbono aéreo es realizar ecuaciones alométricas utilizando clases diamétricas, siendo estos modelos los que presentaron un mejor ajuste del R^2 y un menor CEM. Los datos en este caso también presentan valores muy similares a los calculados directamente, por lo que se menciona que tiene un buen ajuste y que se los puede utilizar (CIRAD y FAO, 2012 citado por España, 2016). Obtenidos los modelos se elaboró el gráfico de la dispersión de los valores observados versus los valores predichos, dando como resultado las figuras 8, 9 y 10 que confirman la funcionalidad de cada modelo realizado.



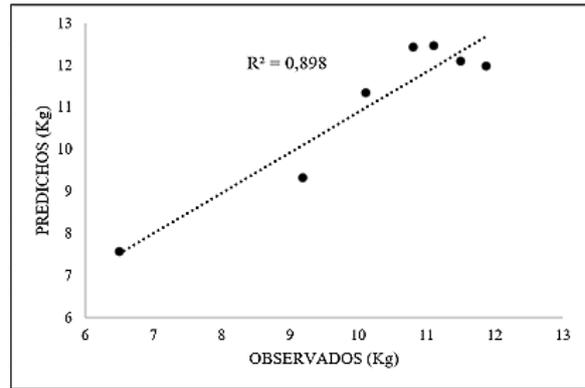
A: Parcela 1; **B:** Parcela 2; **C:** Parcela 3

Figura 8. Valores predichos versus los valores observados por parcela bosque 30 años

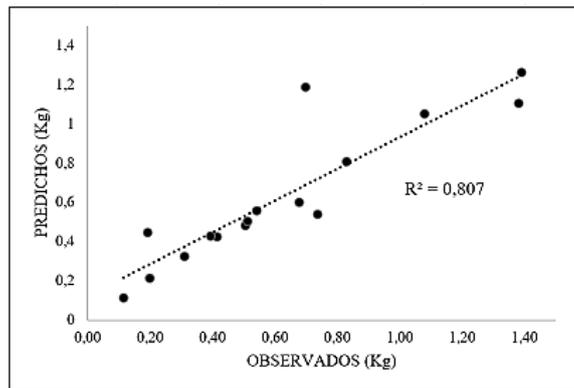
A)



B)



C)



A: Clase diamétrica >20 cm; **B:** Clase diamétrica 10 - 20 cm; **C:** Clase diamétrica 1 - 10 cm

Figura 9. Valores predichos versus los valores observados para cada clase diamétrica bosque 30 años

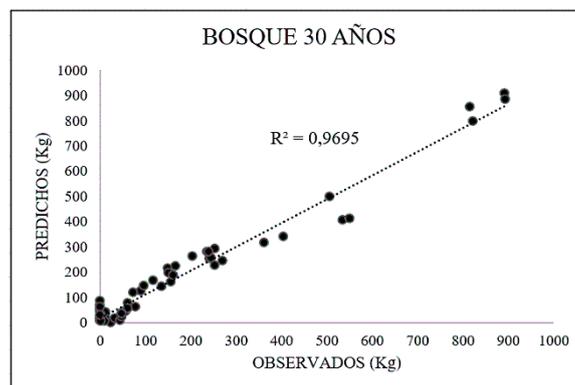


Figura 10. Valores predichos versus los valores observados para el bosque 30 años

Se señala que el uso de ecuaciones desarrolladas en zonas diferentes del área de estudio ocasiona serios problemas de estimación de la biomasa y el carbono. Esto debido a las condiciones edafoclimáticas que se encuentran en cada zona de estudio (Álvarez, García,

Krasilnikov, y García, 2013). Es así como cada modelo desarrollado será específico para la zona de vida, ecosistema, edad, composición y estructura tanto horizontal como vertical y otros aspectos a considerar para ecosistemas tal y como señalan España, (2016) y Segura y Andrade (2008).

Finalmente se expresa que los modelos generados en esta investigación pueden ser usados para calcular la biomasa o el carbono aéreo de bosques secundarios con condiciones similares a las de esta zona de estudio.

4.4. Cálculo del carbono aéreo

El carbono aéreo total promedio del bosque de 18 años fue de 16,78 MgC.ha⁻¹, mientras el bosque de 30 años tuvo 55,73 MgC.ha⁻¹. Al calcular la desviación estándar, el error estándar y el coeficiente de variación indicaron valores dispersos, lo que se debe principalmente a la estructura de los bosques y el amplio rango de las especies analizadas tanto en diámetro como altura (Tabla 13). Estos bosques son un aporte importante en la reducción de GEI presentes en la atmósfera, y de igual manera funcionan como reguladores hidrológicos de la zona, por tal motivo esta investigación se convierte en un punto de partida para estrategias de manejo de estos ecosistemas, tal y como lo menciona Torres, Mena y Álvarez, (2017) en su investigación realizada en tres bosques de Colombia, donde obtuvo un promedio de 48,17 MgC.ha⁻¹.

Tabla 13

Estadísticas descriptivas del carbono total y promedio de los bosques

Bosque	Superficie (ha)	Carbono Promedio (MgC.ha ⁻¹)	Carbono Total (MgC)	Desviación estándar	Coefficiente de Variación (%)
18 años	8,15	16,78	136,76	104,33	232,35
30 años	5,39	55,73	300,38	146,43	110,94

Los datos arrojados en la investigación comparados con varios autores se identifica varias semejanzas, debido principalmente a las condiciones de los bosques. Estos presentan un

rango de 20,9 – 30 °C en temperatura, un rango de 1400 – 3464 mm para la precipitación, y para la altitud va desde 0,99 a 3060 msnm. Donde para bosques secundarios de Costa Rica y Perú de 18 años de edad se tiene una captura de carbono entre 13,25 – 15,90 MgC.ha⁻¹ (Fonseca *et al.*, 2008), en Colombia por otro lado bosques de 12 años poseen un total de 31,30 MgC.ha⁻¹, mientras que en bosques de 30 años se tiene 45,20 MgC.ha⁻¹ (Torres *et al.*, 2017). En el estudio realizado por Ibrahim *et al.*, (2007) menciona que en Nicaragua se tiene un total de 23 MgC.ha⁻¹ para bosques secundarios. En la evaluación nacional se menciona que para la Cuenca Amazónica se reportaron valores de 127,20 MgC.ha⁻¹ de carbono en bosques primarios y en bosques secundarios de 26,40 MgC.ha⁻¹ (MAE *et al.*, 2014; Saatchi, Houghton, Dos Santos, Soares, y Yu, 2007), mientras que en bosques húmedos premontanos secundarios de 15 años de Costa Rica, posee un total de 50,60 MgC.ha⁻¹ (Cifuentes, 2008). Todos estos valores se mencionan que se encuentran por debajo de los establecidos por el IPCC que ronda entre 100 y 205 MgC.ha⁻¹, siendo debido principalmente al uso anterior del suelo y el tiempo de transición de estos (IPCC, 2006).

Sin embargo, en bosques riparios de Colombia presentan valores mayores a los obtenidos con un total de 158,70 MgC.ha⁻¹, que se debería principalmente a la proximidad de las fuentes hídricas y por ende un mejor desarrollo en las especies de esa zona de estudio (Ibrahim *et al.*, 2007). Mientras en el noroccidente del Ecuador en Esmeralda, un bosque secundario subtropical de 40 años obtuvo un total de 127,50 MgC.ha⁻¹, donde las condiciones propias de la provincia infieren a tener mayor cantidad de especies de rápido crecimiento, y por tal motivo la captura de carbono es más rápida debido a las necesidades propias de cada individuo, esto debido de igual manera que las especies de la zona son principalmente heliófitas (López, Koning, Paredes, y Benítez, 2002, citado por MAE *et al.*, 2014).

Estas diferencias se pueden afirmar que son resultado del aumento sistémico de las limitaciones fisiológicas impuestas por las plantas leñosas, influyendo en esto las condiciones

edafoclimáticas y de igual manera dependerá en gran medida el estado de desarrollo del bosque. Otro de los motivos, se debe a las diferencias en el uso de diversas metodologías, especialmente a la selección y uso de ecuaciones con una sola variable (Torres *et al.*, 2017).

Para tener mejor visión de la captura de carbono en los bosques se menciona que existieron especies que por su gran cantidad de individuos o por su alta densidad fueron los que presentaron mayor cantidad de carbono al interior de cada bosque, tal y como se observa en las tablas 14 y 15.

Tabla 14

Especies representativas del bosque de 18 años

Especie	#individuos/ inventario	Densidad (kg.m⁻³)	Carbono total (MgC.ha⁻¹)
<i>Roupala monosperma</i> (Ruiz & Pav.)	1	651	2,74
<i>Trema micrantha</i>	2	201,80	1,03
<i>Clusia</i> L.	3	316,10	0,85
<i>Delostoma integrifolium</i> D. Don	25	373,10	0,27

El bosque de 18 años posee mayor cantidad de carbono almacenado en el gremio de las esciófitas representados por las familias Proteaceae y Clusiaceae representados por los géneros *Roupala* y *Clusia* respectivamente, sin embargo, los individuos que se obtuvieron se asumen son árboles relictos, esto debido a las características de cada individuo y su baja presencia. Por otra parte, se posee un gran porcentaje de presencia del gremio de las heliófitas, encontrándose en el área las familias Cannabaceae y Bignoniaceae representados por los géneros *Trema* y *Delostoma* respectivamente, debido principalmente a la cantidad de luz que existe en los claros del bosque, que, si bien su densidad no posee un alto valor, la presencia en todas las parcelas y en todos los estratos, hace referencia a una buena distribución en el bosque.

Tabla 15*Especies representativas del bosque de 30 años*

Especie	#individuos/ inventario	Densidad (kg.m⁻³)	Carbono/bosque (MgC.ha⁻¹)
<i>Cinchona pubescens</i> Vahl.	1	579,69	1,26
<i>Ficus tonduzii</i> Standl.	1	358,05	1,04
<i>Ficus rieberiana</i> C.C. Berg	1	382,79	0,98
<i>Symplocos jacq</i>	1	381,97	0,97

Con respecto al bosque de 30 años, se puede observar que el género más representativo es del gremio de las esciófitas representado por la familia Rubiaceae, esto debido al tiempo de transición, encontrándose individuos de características superiores tanto en diámetro, altura y densidad; lo que se refleja en la cantidad de carbono que posee. Sin embargo, existen géneros del gremio de las heliófitas con gran cantidad de carbono como es el caso de *Ficus sp.*, que pertenecen a la familia Moraceae. Se puede señalar que este gremio posee una gran distribución en el bosque, debido principalmente a condiciones antrópicas como caminos, linderos y proximidad a un riachuelo, donde se posee una buena regeneración.

Estos datos se pueden analizar con los obtenidos en Perú en un bosque secundario donde el almacenamiento de carbono fue de 63,24 MgC.ha⁻¹, y las especies con mayor almacenamiento de carbono fueron *Taralea oppositifolia* con 5,33 MgC.ha⁻¹, *Cecropia sciadophylla* con 4,68 MgC.ha⁻¹ y *Guatteria hyposericea* con 2,97 MgC.ha⁻¹, siendo las dos principales pertenecientes al gremio de las heliófitas (Dossantos, 2014).

Con respecto a la cantidad de carbono almacenado en los detritus se puede indicar que en el bosque de 18 años se posee un total de 5,46 MgC.ha⁻¹, mientras que en el bosque de 30 años se posee 3,50 MgC.ha⁻¹. Estos datos se presume se deben a la presencia de árboles de regeneración y gran cantidad de especies arbustivas y hierbas, ya que la cantidad de luz presente es considerable; estas especies aportan gran cantidad de materia orgánica en el suelo en el

bosque de 18 años, mientras que en el bosque de 30 años se poseen árboles de gran tamaño que poseen el carbono almacenado en su fuste principalmente y de igual manera la falta de luz para el sotobosque no permite existan hierbas y la cantidad de materia orgánica sea menor. Estos datos poseen validez al analizar el estudio realizado por Mena, (2008) en bosques secundarios, donde señala que la necromasa posee un total de $9,60 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$.

El estudio realizado por Lapeyre *et al.*, (2004) da validez al analizar la cantidad de carbono almacenado tanto en bosques primarios y secundarios de diferentes edades (20 y 50 años), obteniendo un total de 3,51, 3,90 y $4,70 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ respectivamente, sin embargo, en este caso se observa que el bosque secundario de mayor edad posee mayor cantidad, es debido a que se encontraron árboles caídos en la zona de estudio. Los valores de esta investigación se encuentran cercanos a lo reportado en otros sitios de Ecuador y otras regiones de Centro y Sur América para bosques secundarios, como es el caso de la Reserva de la Biosfera Sumaco una cantidad de $4 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$, por otro lado en los Andes ecuatorianos se posee $3,91 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ a 1050 msnm (Jadán, Torres, y Günter, 2011; Leuschner *et al.*, 2013).

Con respecto a la cantidad de carbono almacenado en el suelo, se indica que existe un total de $1\,477,50 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ para el bosque de 18, mismo que representa el 9,85 % de carbono de los minerales del suelo; esto quiere decir que para toda la extensión del bosque se posee un total de $12\,041,63 \text{ MgC}$. Con un total de $3\,477 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$, representando un 11,59 % para el bosque de 30 años, obteniendo un total de $18\,741,03 \text{ MgC}$ (Anexo 2); lo que nos señala que existe un almacenaje de carbono creciente en el suelo a medida que pasa el tiempo de transición, esto debido principalmente en el aporte de algunas especies por parte de la biomasa. Si bien los resultados muestran que el bosque que posee mayor cantidad de carbono es el de 18 años, se debe tener presente que este bosque tiene una extensión mayor que el bosque de 30 años. Sin embargo, hay que señalar que el IPCC menciona que a medida que se estudien las capas más profundas del suelo se tenga un impacto mayor del carbono (FAO, 2017).

Para tener una visión más concreta de los resultados se presenta a continuación un cuadro de resumen de la cantidad almacenada por cada zona de estudios y en cada componente de los bosques (Tabla 16).

Tabla 16

Cuadro de resumen del carbono por componente

Bosque	Componentes	Carbono total (MgC.ha⁻¹)
Bosque de 18 años	Vegetación arbórea	136,76
	Detritus	5,46
	Suelo	1 477,50
	TOTAL	1 619,72
Bosque 30 años	Vegetación arbórea	300,38
	Detritus	3,50
	Suelo	3 477
	TOTAL	3 780,88

4.5.Comparación entre bosques

Haciendo uso del software InfoStat se realizó la inferencia necesaria para determinar si la estructura y la composición son factores determinantes para la cantidad de carbono almacenado por la vegetación. Como es de conocimiento la edad posee una relación directa con la estructura y la composición. Es así que con un nivel de probabilidad de 0,05 y posterior al análisis, el valor de p en la comparación de los bosques fue igual que la probabilidad, indicando que la estructura y la composición florística son factores determinantes en la cantidad de carbono. Estos valores se pueden apreciar de mejor manera en la tabla 17:

Tabla 17.

t de student para medias de variables independientes

Inferencia de dos muestras	
Media bosque 18 años	5,60 Mg.ha ⁻¹
Media bosque 30 años	18,58 Mg.ha ⁻¹
Grados de libertad	4
<i>p-valor</i>	0,05

Teniendo presente la diferencia de edad entre los dos bosques analizados (12 años) se infiere que la tasa de fijación promedio es de $2,43 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, dato que es validado por el estudio de Fonseca, (2008) que en un bosque con una transición de 13 años se pudo obtener una tasa de fijación de $3 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ (Fonseca *et al.*, 2008). Estos datos refutan lo mencionado por (Kyrkund, 1990 y Finegan, 1997 citado por Mena, 2008) donde mencionan que la biomasa acumulada por el crecimiento de los árboles en los bosques disminuye gradualmente conforme aumenta la edad del bosque.

Otras investigaciones apoyan lo encontrado en esta investigación donde señalan que la biomasa total de un bosque secundario paso de $28,90 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ a los 5 años a $67,90 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ a los 18 años (Fonseca *et al.*, 2008), de igual manera se señala que el contenido de carbono almacenado en los bosques del Jardín Botánico del Pacífico, tiende a aumentar con la edad, datos similares se registran en investigaciones de bosques tropicales realizados (Ulate, 2011, Yuise, Pocomucha y Ytavclerh 2012 citado por Torres *et al.*, 2017). Estos datos también son señalados por el IPCC, indicando que el almacenamiento de carbono por parte de los árboles no es uniforme a lo largo de su vida, sino que está en relación directa con su crecimiento donde se posee aproximadamente el 50 % del carbono en la biomasa (Torres *et al.*, 2017).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La biomasa aérea promedio para el bosque de 18 años es de 33,57 MgC.ha⁻¹, mientras que para el bosque de 30 años se obtuvo 111,46 MgC.ha⁻¹.
- Los modelos con un mejor ajuste fueron aquellos analizados utilizando clases diamétricas, y las variables DAP, Ht y densidad, presentando un mayor R² y un menor CME.
- Los bosques secundarios se consideran reguladores climáticos de la zona, debido a su tasa de fijación de 2,43 MgC.ha⁻¹.año⁻¹, aumentando la cantidad de carbono conforme pasa el tiempo de transición en la estructura de las especies arbóreas, mientras que la parte del carbono de la materia orgánica sobre el suelo se reduce conforme se va modificando la estructura y composición de cada bosque.

5.2. Recomendaciones

- Dar seguimiento al estudio para observar la variabilidad de los datos conforme la edad de transición en cada bosque analizado, y generar mayor validez con respecto a la captura de carbono de estos ecosistemas.
- Realizar un estudio sobre el análisis de la captura de C con relación a la filtración de agua al ecosistema, para señalar que estos bosques secundarios son medios para la adaptación al cambio climático.
- Si se pretende utilizar los modelos alométricos de esta investigación, observar que las condiciones edafoclimáticas del sitio a analizar sean similares al sitio de esta investigación. Esto permitiría validar, y observar el nivel de confiabilidad de las fórmulas generadas.

ANEXOS

Anexo 1

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN									
LUGAR	IMBABURA - COTACACHI - ZONA DE INTAG		EDAD APROXIMADA DEL BOSQUE	30	MEDICIÓN DE ALTURA	Sebastian Flores			
FECHA	7/5/2019		COORDENADAS X:		Y:	MEDICIÓN DE DIÁMETRO Lenin Médez			
PARCELA # B30 P3									
# árbol	ESPECIE	Altura		Altura total	CAP	DAP	# RAMAS	# HOJAS / RAMAS	Observaciones
		Vs	Vi						
Parcela >20									
B30P3-30 (1)	Simplocus			15	100,35	31,9	0,319424		corteza de color roja
B30P3-30 (2)	Delostoma			13	88,5	28,2	0,2817042		
B30P3-30 (3)	caliandra			16	65	20,7	0,2069014		
B30P3-30 (4)	caliandra			12	100,35	31,9	0,319424		
B30P3-30 (5)	Ficus			14	92	29,3	0,2928451		corteza arenosa y latex
B30P3-30 (6)	Ficus			17,5	100,6	32,0	0,3202197		
B30P3-30 (7)	caliandra			9	66	21,0	0,2100845		

Figura 11. Hoja de campo para la recolección de información

Anexo 2

LABONORT

LABORATORIOS NORTE

Av. Cristóbal de Troya 493 y Jaime Roldos Ibarra-Ecuador. Telf. cel. 0999591050

REPORTE DE ANÁLISIS %MO Y %C

DATOS DEL PROPIETARIO

NOMBRE : MARIO CORDOBA
 CIUDAD : Cotacachi
 TELÉFONO : 0985090767
 FAX :

DATOS DE LA PROPIEDAD

PROVINCIA : Imbabura
 CANTÓN : Cotacachi
 PARROQUIA : Intag
 SITIO :

DATOS DEL LOTE

SITIO : Intag
 MUESTRA : Suelo 9224-9225
 N. CAMPO: B30- B18

DATOS DE LABORATORIO

No REPORTE : R 9224-5
 No MUES.LAB.: L 9224-5
 FECHA DE MUESTREO:
 FECHA DE INGRESO : 03 01 2020
 FECHA DE REPORTE : 08 01 2020

RESULTADOS

MUESTRA	N. DE CAMPO	%MO	%C
9224	B30	21,92	11,59
9225	B18	18,63	9,85

Método: Determinación C orgánico en suelo seco por método Walkley y Black

Figura 12. Análisis de laboratorio para el suelo

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, J., Vargas, A., Velásquez, y Etchevers. (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*, 36, 25–38.
- Álvarez, G., García, N., Krasilnikov, P., y García, F. (2013). Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la sierra norte de Oaxaca, México. *Agrociencia*, 47(2), 171–180. Recuperado a partir de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952013000200006&script=sci_arttext&tlng=pt
- Benjamín, J. A., y Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y bosques*, 7(1), 3–12. Recuperado a partir de <http://myb.ojs.incol.mx/index.php/myb/article/view/1314/1484>
- Bermejo, I. (2010). Agricultura y Cambio Climático. *Ecologista*, 67, 18–22. Recuperado a partir de <https://issuu.com/ecologistasenaccion/docs/elecologista67>
- Burbano, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(1), 82–96. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>
- Chamorro, A., y Obando, J. (2015). *Rendimiento en área basal y composición florística en tres tipos de bosques secundarios. Provincia de sucumbíos, cantón Lago Agrio, parroquia El Eno*. Universidad Técnica del Norte.
- Cifuentes, M. (2008). *Aboveground Biomass and Ecosystem Carbon Pools in Tropical Secondary Forests Growing in Six Life Zones of Costa Rica*. Oregon State University. Recuperado a partir de http://www.ghbook.ir/index.php?name=فرهنگ و رسانه و نوین&option=com_dbook&task=readonline&book_id=13650&page=73&chckhashk=ED9C9491B4&Itemid=218&lang=fa&tmpl=component
- Collahuazo, R., y Taicud, K. (2018). *Evaluación de carbono fijo en bosque nublado en la reserva Sabia Esperanza ubicada en imbabura-Ecuador*. Universidad técnica del norte.

- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador* (Asamblea C). Montecristi. Recuperado a partir de https://www.oas.org/juridico/mla/sp/ecu/sp_ecu-int-text-const.pdf
- Cuenca, M., Jadán, O., Cueva, K., y Aguirre, C. (2014). Carbon Storage and allometric equations for species groups and lowland forest, Ecuadorian Amazon. *Cedamaz 2014*, 4(1), 21–31.
- Díaz, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y sociedad*, 37(2), 1–14. Recuperado a partir de <http://repositoriobiblioteca.intec.edu.do/bitstream/handle/123456789/1392/CISO20123702-227-240.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dossantos, E. J. (2014). *Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea del bosque primario y bosque secundario de la parcela “muro huayra”, en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Iquitos-Peru*. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.
- España, F. (2016). *Construcción de modelos alométricos para la determinación de biomasa aérea en aliso de nepal (Alnus nepalensis D. Don) en la zona de Intag, andes del norte del Ecuador*. Universidad Técnica del Norte. Recuperado a partir de http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5728/1/03_FOR_236_TRABAJO_GRADO.pdf
- Eswaran, H., Van Den Berg, E., y Reich, P. (1993). Organic carbon in soils of the world. *Soil science society of America journal*, 57(1), 192–194.
- FAO. (2014). *Aprovechamiento forestal y residuos del aprovechamiento de la madera*.
- FAO. (2016a). *El estado de los bosques del mundo*. Roma. Recuperado a partir de <http://www.fao.org/3/a-i5850s.pdf>
- FAO. (2016b). *El estado de los Bosques en el Mundo*. Roma.
- FAO. (2017). *Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura.

- Finegan, B., y Gordon, J. (1993). Cap 5. El manejo del bosque natural: una opción atractiva para el productor de recursos limitados (OFI-CATIE, pp. 151–195). Turrialba. Recuperado a partir de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6995/Cap.5._El_manejo_del_bosque_natural_una_opcion.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Fleming, J. (2007). *The Callendar Effect*. Boston: American Meteorological Society. Recuperado a partir de http://www.colby.edu/sts/callendar_effect_ebook.pdf
- Fogel, R. (2012). *Cambio climático, alteraciones ambientales y pobreza en el Paraguay*. (E. Sader, Ed.). Buenos aires: CLACSO. Recuperado a partir de <https://www.crop.org/viewfile.aspx?id=353>
- Fonseca, W., Alice, F., Montero, J., Toruño, H., y Leblanc, H. (2008). Acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios y plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* en el Caribe de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 46.
- GADP Peñaherrera. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial GAD Parroquial Peñaherrera*. (J. León, Ed.). Cotacachi.
- Gates, D. (1963). Energy exchange in the biosphere. *Soil Science*, 96(1), 76.
- Gayoso, J., Guerra, J., y Alarcón, D. (2002). *Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas*. Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Guachamin, E. (2017). *Captura y almacenamiento de carbono en el ecosistema páramo de Jambimachi del cantón Cayambe*. Universidad Técnica del Norte. Recuperado a partir de http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7082/1/03_FOR_259_TRABAJO_DE_GRADO.pdf
- Gualsaquí, N. (2018). *Determinación de áreas prioritarias para el manejo forestal sostenible en la parroquia Peñaherrera, zona de Intag, noroccidente del Ecuador*. Universidad Técnica del Norte.

- Guayanlema, V. (2013). *Inventario Nacional de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector transporte al 2012*. Quito: UCE. Recuperado a partir de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1860/1/T-UCE-0017-43.pdf>
- Herrán, C. (2012). El cambio climático y sus consecuencias para América Latina. *Proyecto Energía y Clima de la Fundación Friedrich Ebert*, 8. Recuperado a partir de <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/la-energiayclima/09164.pdf>
- Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., ... Rojas, J. (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*, 45(1), 27–36.
- Imaña, J. (2011). *Mensura dasométrica* (FINATEC). Brasília: Universidad de Brasília. Recuperado a partir de https://www.academia.edu/39203779/Mensura_Dasométrica_José_Imaña-Encinas
- INEC. (2018). *Biodiversidad del Ecuador - Resumen y características de su Flora y Fauna*. Quito. Recuperado a partir de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Sitios/pagina_ambientales/
- IPCC. (2006). *Land use, Land use change, and forestry, a special report*. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC. (2007). *Climate change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (C. Parry, M. , Canziani, O., Palutikof, J., Van der Linden, P., & Hanson, Ed.) (Vol. 4). Cambridge University Press. Recuperado a partir de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf
- ITTO, y MAE. (2011). *Aprovechamiento de Recursos Forestales en el Ecuador (Periodo 2010)*. Quito. Recuperado a partir de

http://www.itto.int/files/user/pdf/PROJECT_REPORTS/PD_406_06_Forest_Harvesting_in_Ecuador_2010_offenses_and_forfeiture.pdf

Jadán, O., Torres, B., y Günter, S. (2011). Influencia del uso de la tierra sobre almacenamiento de carbono en sistemas productivos y bosque primario en Napo, Reserva de Biosfera Sumaco, Ecuador. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 1(3), 173–184. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5259033>

Jaramillo, V. (2004). El ciclo global del carbono. *Cambio climático: una visión desde México*, 77.

Lapeyre, T., Alegre, J., y Arévalo, L. (2004). Determination of carbon reserves of the aerial biomass in different land use systems in san martin, Perú. *Ecología Aplicada*, 3(1–2), 35–44.

Leuschner, C., Zach, A., Moser, G., Homeier, J., Graefe, S., Hertel, D., ... Röderstein, M. (2013). The carbon balance of tropical mountain forests along an altitudinal transect. En *Ecosystem services, biodiversity and environmental change in a tropical mountain ecosystem of South Ecuador* (pp. 117–139). Springer. Recuperado a partir de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-38137-9_10

López, M., Koning, F. de, Paredes, H., y Benítez, P. (2002). Estimación de carbono en biomasa de bosques secundarios y plantaciones forestales en el Noroccidente de Ecuador. *Investigación de Bosques tropicales. Begleitprogramm Tropenökologie (TÖB), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH*.

MAE. (2016). *Plan de Acción REDD+, Bosques para el Buen Vivir 2016-2025*. Quito. Recuperado a partir de http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185860/MAE_2016_11_21+ART+LIBRO+REDD+17+nov+2016.pdf/e282f00c-37b2-4183-8349-54ecc9837bc8

MAE. (2017). *Código Orgánico Ambiental*. Quito, Ecuador. Recuperado a partir de

- https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- MAE. (2018). *Estadísticas del Patrimonio Natural del Ecuador Continental*. Quito.
- MAE, MFSCC, y FAO. (2014). *Evaluación Nacional Forestal - Resultados*. Quito. Recuperado a partir de http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185860/Evaluación+Nacional+Forestal_NREFD+1.pdf/955aaa38-34b6-4b4d-9278-8fe915df893f
- Mena, V. (2008). *Relación entre el carbono almacenado en la biomasa total y la composición fisionómica de la vegetación en los sistemas agroforestales con café y en bosques secundarios del corredor biológico Volcánica Central-Talamanca, Costa Rica*. CATIE. Recuperado a partir de http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/3813/Relacion_entre_el_carbono_almacenado.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Merino, J. (2010). *Estudio económico de dos formas de aprovechamiento forestal del Pigüe (Pollalesta discolor) en el cantón Mera, provincia de Pastaza*. Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero Forestal. Riobamba Recuperado a partir de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/749/1/33T0073.pdf>
- Ministerio de Educación. (2018). Acción del ser humano sobre la naturaleza. En *Ciencias Naturales* (SM EcuAedi, pp. 159–170). Quito.
- Montoya, L. (2017). *Balance entre biomasa y carbono en plantación de Pinus tecunumanii Eguluz & Perry (Pino) y Araucaria angustifolia (Bertol) Kuntze (Araucaria) en la estación experimental La Favorita, Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas*. Universidad Técnica del Norte.
- Moore, J., Berlow, E., Coleman, D., De Ruiter, P., Dong, Q., Hastings, A., ... Wall, D. (2004). Detritus, trophic dynamics and biodiversity. *Ecology letters*, 7(7), 584–600. Recuperado

- a partir de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1461-0248.2004.00606.x#>
- Moraes, C., Finegan, B., Kanninen, M., Delgado, L., y Segura, M. (2002). Composición florística y estructura de bosques secundarios. *Revista Forestal Centroamericana*, 38(1021-0164), 44–50.
- Návar, J., y Silva, F. (2010). Factores de expansión de biomasa en comunidades forestales templadas del norte de Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(1), 55–62. Recuperado a partir de <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v1n1/v1n1a7.pdf>
- Pérez, G. (2011). Ciclo del carbono.com. Recuperado a partir de http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/El_Sistema_Climatico/Teorico/El_Sistema_Climatico_2011/Ciclo_C.pdf
- Rivera, I., y Di Paola, M. (2013). Cambio climático: Impacto e incidencias de las políticas públicas en el sector agropecuario. *Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. México*, 277–278. Recuperado a partir de <http://www.farn.org.ar/wp-content/uploads/2014/07/informe2013-1.268-291.pdf>
- Rojo, G., Jasso, J., y Velásquez, A. (2003). Las masas forestales como sumideros de co2 ante un cambio climático global. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(1). Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/pdf/629/62990106.pdf>
- Rügnitz, M., Chacón, M., y Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales* (1. ed.). Lima: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica (IA).
- Saatchi, S., Houghton, R., Dos Santos, R., Soares, J., y Yu, Y. (2007). Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global change biology*, 13(4), 816–837.
- Schlegel, B., Gayoso, J., y Guerra, J. (2000). *Manual de procedimientos muestreos de biomasa forestal*. Valdivia: Universidad Austral de Chile Valdivia. Recuperado a partir de https://www.uach.cl/procarbono/pdf/manuales/guia_destructivo.pdf

- Segura, M., y Andrade, H. (2008). ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? *Agrofores*, 46, 8.
- SENPLADES. (2017). Plan nacional de desarrollo 2017-2021 “Toda una Vida”. *Senplades*, 1–148.
- Silva, L. (2006). Ensayo de manejo del bosque secundario del Magdalena medio en el corregimiento de Puerto Pinzón, Municipio de Puerto Boyacá. *Revista Colombia Forestal*, 9(19), 45–60. <https://doi.org/0120-0739>
- Tanabe, K., y Wagner, F. (2003). Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. *Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan*. Available at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.htm>.
- Torres, J., Mena, V., y Álvarez, E. (2017). Carbono aéreo almacenado en tres bosques del Jardín Botánico del Pacífico, Chocó, Colombia. *Entramado*, 13(1), 200–209. Recuperado a partir de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1900-38032017000100200&script=sci_abstract&tlng=pt
- Velázquez, A., Gerardo, B., y Siebe, C. (2014). *Cambio de uso del suelo. Red Temática de CONACYT sobre Medio Ambiente y Sustentabilidad. Compilada por M. Maass y M. Equihua* (Vol. 1). Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/publication/263342417_Cambio_de_uso_del_suelo
- Zamora, P., Domínguez, M., Villegas, P., Guitiérrez, C., Manzanero, L., Ortega, J., ... Puch, R. (2011). Composición florística y estructura de la vegetación secundaria en el norte del estado de Campeche, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 89, 27–35.