



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

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

**ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE ALMACENAMIENTO DE
CARBONO DEL BOSQUE PROTECTOR "LOS ARRAYANES",
SECTOR MONTE VERDE, PROVINCIA DEL CARCHI.**

AUTOR

Juan Francisco Ruiz Guerrón

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

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO DEL BOSQUE PROTECTOR "LOS ARRAYANES", SECTOR MONTE VERDE, PROVINCIA DEL CARCHI.

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. Eduardo Jaime Chagna Avila, Mgs
Tribunal de trabajo de titulación



Mg. Eduardo Chagna
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. José Raúl Guzmán Paz, 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 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:	1003622873
NOMBRES Y APELLIDOS:	Juan Francisco Ruiz Guerrón
DIRECCIÓN:	Los Ceibos; Río Vinces 2-52
EMAIL:	jfruiz@utn.edu.ec
TELÉFONO FIJO:	(06) 2641895 TELÉFONO 0989840707

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO DEL BOSQUE PROTECTOR "LOS ARRAYANES", SECTOR MONTE VERDE, PROVINCIA DEL CARCHI.
AUTOR:	Juan Francisco Ruiz Guerrón
FECHA:	25 de agosto de 2020
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Forestal
DIRECTOR:	Ing. Jorge Luis Ramírez López, M.Sc

CONSTANCIA

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 es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que se asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 25 de agosto de 2020

EL AUTOR:



Juan Francisco Ruiz Guerrón

C.C.: 1003622873

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA - UTN

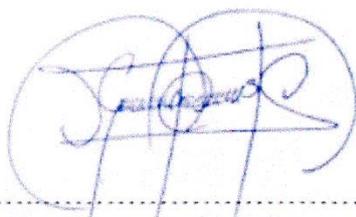
Fecha: 25 de agosto de 2020

Juan Francisco Ruiz Guerrón **ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO DEL BOSQUE PROTECTOR "LOS ARRAYANES", SECTOR MONTE VERDE, PROVINCIA DEL CARCHI;** Trabajo de titulación. Ingeniera Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 25 de agosto 2020.

DIRECTOR: Ing. Jorge Luis Ramírez López, M.Sc.

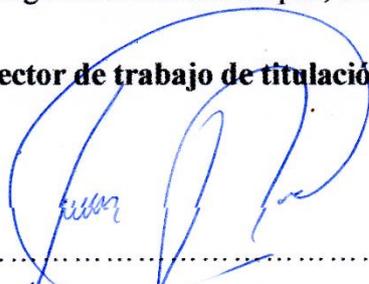
El objetivo principal de la presente investigación fue: Determinar el potencial de almacenamiento de carbono del Bosque Protector "Los Arrayanes" sector Monte Verde, provincia del Carchi.

Fecha: 25 de agosto de 2020



Ing. Jorge Luis Ramírez López, M.Sc.

Director de trabajo de titulación



Juan Francisco Ruiz Guerrón

Autor

DEDICATORIA

Dedicado con todo el amor y cariño del mundo a mis padres,

Olivia Guerrón y Milton Ruiz por el apoyo incondicional

brindado durante toda mi vida; por su cariño y esfuerzo, por

darme una carrera y un futuro enfocado al éxito.

*A mi hija Valentina Ruiz por ser el motivo de
superación e inspiración para poder superarme cada día más y
así poder inculcar los mismos valores que me dieron mis padres*

AGRADECIMIENTO

Un eterno agradecimiento a mis padres y a mis queridos hermanos en especial a la Ing. Ana Lucía Ruiz y al Dr. Andrés Ruiz por el apoyo y asistencia brindada durante la ejecución de la investigación.

Al comité asesor asignado para el desarrollo de la investigación; especialmente al Ing. Jorge Ramírez por su acompañamiento permanente, paciencia y aporte experimental para el adecuado desarrollo de la presente.

A la señorita Anahí Guacán por su constante apoyo y colaboración en la elaboración de materia fotográfica.

A mi estimado amigo y futuro colega el Ing. Edison Fernando Guerra Piedra por ser inspiración de joven visionario y soñador.

ÍNDICE DE CONTENIDO

HOJA DE APROBACIÓN DEL COMITÉ ASESOR	i
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	ii
CONSTANCIA.....	iii
REGISTRO BIBIOGRÁFICO	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRAC	xii

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

1.1	Objetivos	2
1.1.1	General.....	2
1.1.2	Específicos	2
1.2.	Preguntas directrices	2

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1	Fundamentación legal	3
2.1.1	Constitución de la República del Ecuador 2008	3
2.1.2	Código Orgánico del Ambiente (COA)	3
2.1.3	Plan Nacional del Desarrollo 2017 - 2021	4
2.1.4	Línea de investigación	4
2.2	Fundamentación teórica	4
2.2.1	Cambio climático	4
2.2.2	Ecuador frente al cambio climático	10

2.2.3	Políticas estratégicas para hacer frente al cambio climático.....	11
2.2.4	Mecanismos de determinación de carbono almacenado	11
2.2.5	Bosques en el Ecuador	13
2.2.6	Bosque Protector de los Arrayanes	15
2.2.7	Taxonomía y morfología de la especie vegetal dominante.....	15

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1	Delimitación del área de estudio.....	17
3.2	Tamaño de la muestra	17
3.2.1	Forma y tamaño de la unidad primaria de muestreo (UPM).....	18
3.3	Variables dasométricas	18
3.4	Determinación de biomasa de individuos muestreados	19
3.4.1	Biomasa Aérea	20
3.5	Formación de fórmulas alométricas.....	21
3.6	Biomasa de detritus.....	23
3.7	Biomasa por debajo del suelo	23
3.8	Determinación biomasa total	23
3.9	Determinación de carbono	24

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Definición del área de estudio.....	25
4.2	Tamaño de la muestra	26
4.2.1	Volumen.....	28
4.3	Biomasa aérea de individuos muestreados.....	28
4.3.1	Biomasa por debajo del suelo	30
4.3.2	Biomasa del detritus.....	30
4.4	Formación de modelos alométricas.....	31
4.5	Biomasa total del bosque	33
4.6	Carbono total del bosque	33
CONCLUSIONES		36

RECOMENDACIONES.....	37
BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXOS.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Fuentes de emisión y actividades que producen CO ₂	8
Tabla 2 Factores de conversión por compartimiento.	24
Tabla 3 Información del inventario forestal.	27
Tabla 4 Contenido de biomasa de individuos muestreados.	29
Tabla 5 Contenido de biomasa por debajo del suelo.....	30
Tabla 6 Biomasa de detritus.	31
Tabla 7 Fórmulas alométricas desarrolladas	31
Tabla 8 Comparación de biomasa total vs biomasa simulada.....	32
Tabla 9 Biomasa por componente	33
Tabla 10 Contenido de carbono total del bosque por compartimiento.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de las parcelas primaria de muestreo (UPM).	21
Figura 2. Mapa de estudio de ubicación del bosque Los Arrayanes.	29
Figura 3. Unidades primarias de muestreo evaluadas.	30

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultado de análisis de suelo	44
Anexo 2. Senderos del bosque protector los Arrayanes	45
Anexo 3. Toma de Datos	45
Anexo 4. Medición de DAP	45
Anexo 5. Toma de altura y DAP	46
Anexo 6. Búsqueda de árboles dentro del bosque	46

TÍTULO: ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO DEL BOSQUE PROTECTOR "LOS ARRAYANES", SECTOR MONTE VERDE, PROVINCIA DEL CARCHI.

Autor: Juan Francisco Ruiz Guerrón

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

Año: 2020

RESUMEN

El presente trabajo de investigación determinó el potencial de almacenamiento de carbono en el estrato aéreo, subterráneo y del suelo existente en el Bosque Protector "Los Arrayanes", sector Monte Verde, provincia del Carchi. Estos valores se obtuvieron midiendo la biomasa de cada componente, que resulta de la recopilación de datos dasométricos recolectados en el área de estudio. Posteriormente se construyeron modelos alométricos para la estimación de biomasa y carbono aéreo del bosque. El modelo de mejor ajuste fue: $B=0.0037*LN(DC^4)+9.37*DAP^2-197*DAP+0.17$; en donde las variables regresoras seleccionadas describen el 99% de la variación de la biomasa aérea en este tipo de ecosistema. Como resultado de la aplicación del modelo alométrico de biomasa aérea se obtuvo 231.64 Mgha^{-1} . La biomasa total del bosque (aérea, debajo del suelo y detritus) fue de 343.24 Mgha^{-1} . Con los valores de biomasa obtenidos, se calculó el contenido de carbono aplicando sus respectivos factores de conversión y se adicionó el carbono del suelo con un valor total de 424.55 Mgha^{-1} . La cantidad de carbono total existente en el bosque "Los Arrayanes", lo ubica como un importante sumidero de carbono.

Palabras clave: bosque, biomasa, Arrayanes, modelo alométrico.

TITLE: ESTIMATION OF THE CARBON STORAGE POTENTIAL OF THE PROTECTIVE FOREST "LOS "LOS, MONTE VERDE SECTOR, CARCHI PROVINCE.

Author: Juan Francisco Ruiz Guerrón

Project Advisor: Ing. Jorge Luis Ramírez López, M.Sc.

Year: 2020

ABSTRAC

This research work determined the potential for carbon storage in the aerial, underground and soil strata existing in the Protected Forest "Los Arrayanes", Monte Verde sector, Carchi province. These values were obtained by measuring the biomass of each component, which results from the collection of dasometric data collected in the study area. Subsequently, allometric models were built to estimate biomass and airborne carbon in the forest. The best fit model was: $B=0.0037*LN(DC^4)+9.37*DAP^2-197*DAP+0.17$; where the selected regression variables describe 99% of the variation of the aerial biomass in this type of ecosystem. As a result of the application of the allometric model of aerial biomass, 231.64 Mgha⁻¹ was obtained. The total biomass of the forest (aerial, below ground and detritus) was 343.24 Mgha⁻¹. With the biomass values obtained, the carbon content was calculated by applying their respective conversion factors and added soil carbon with a total values of 424.55 Mgha⁻¹. The total amount of carbon existing in the forest "Los Arrayanes", places it as an important carbon sink.

Keywords: forest, biomass, Arrayan, allometric model

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El bosque de los Arrayanes es una formación forestal milenaria de la provincia del Carchi. Este ecosistema está enraizado en la cultura y el trabajo diario de los pobladores de la parroquia San José, debido principalmente a los servicios ecosistémicos de suministro y regulación que ofrece. A esto se suma la importancia que tiene en diferentes actividades y rituales desarrollados en la zona. A pesar de la importancia sociocultural y ambiental del bosque, se ve amenazado por las actividades agrícolas y pecuarias que se desarrollan en su entorno. Estas actividades son calificadas de carácter destructivo, debido al uso excesivo de diferentes productos agroquímicos, que contaminan las zonas adyacentes y de amortiguamiento; generando pérdida de biodiversidad, disminución de regeneración natural y cambios en la dinámica del bosque (FAO, 2010).

El Ecuador cuenta con gran variedad de formaciones vegetales de gran importancia ambiental que aporten a la mitigación del cambio climático; no obstante, la mayor parte de estudios de almacenamiento de carbono se han realizado en plantaciones de especies exóticas comerciales; debido al interés económico que generan, dejando de lado el aporte ambiental y sociocultural de los bosques nativos (Lozano, 2015).

Uno de los factores influyentes que aportan a la disminución de extensiones boscosas es el cambio de uso del suelo; por lo general estas áreas son transformadas para zonas pecuarias donde la utilización de productos agroquímicos es muy frecuente. Los productos agroquímicos utilizados para la producción agrícola y pecuaria en los alrededores del bosque; emiten gases de efecto invernadero generando un impacto ambiental que aporta al cambio climático. El Ministerio del Ambiente del Ecuador (2013) menciona que, los gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxidos de nitrógeno (NO_x), fluoroclorocarbono (FCC); provenientes del sector productivo e industrial del Ecuador es mínimo; la fragilidad que presentan este tipo de ecosistemas lo vuelve vulnerables a los efectos negativos del cambio climático. Para dar frente a este problema el IPCC (1995) presentan al mercado de carbono, como una alternativa para la reducción de gases de efecto invernadero, con el fin de conservar e incrementar las áreas naturales del país; por lo que es necesario contar con estudios específicos de cuantificación de carbono, que contribuyan a las estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático.

La presente investigación aporta información del contenido de biomasa y carbono de bosques dominados por la especie *Myrcianthes hallii*, por medio de la construcción de modelos alométricos formados por variables como el diámetro y la altura.

2.1 Objetivos

2.1.1 General

Determinar el potencial de almacenamiento de carbono del Bosque Protector “Los Arrayanes” sector Monte Verde, provincia del Carchi.

2.1.2 Específicos

- Determinar modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea del componente arbóreo del bosque protector “Los Arrayanes”.
- Estimar el contenido de carbono almacenado en el bosque estudiado.

1.2. Preguntas directrices

- ¿La construcción de modelos alométricos nos permitirá determinar la cantidad de biomasa aérea existente en el componente forestal del bosque protector “Los Arrayanes”?
- ¿Cuál es el potencial de almacenamiento de carbono del bosque protector “los Arrayanes”?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

3.1 Fundamentación legal

3.1.1 Constitución de la República del Ecuador 2008

Art. 74.- Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir.

Art. 83.- Son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley; que en el numeral 6. Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.

Art. 283.- El sistema económico es social y solidario; reconoce al ser humano como sujeto y fin; propende a una relación dinámica y equilibrada entre sociedad, Estado y mercado, en armonía con la naturaleza; y tiene por objetivo garantizar la producción y reproducción de las condiciones materiales e inmateriales que posibiliten el buen vivir.

Art. 387.- Será responsabilidad del Estado, que en el numeral 3. Garantizar la libertad de creación e investigación en el marco del respeto a la ética, la naturaleza, el ambiente, y el rescate de los conocimientos ancestrales (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

3.1.2 Código Orgánico del Ambiente (COA)

Art. 110.- Fomento. Se fomentarán los usos o actividades que utilicen menores cantidades del recurso forestal, por productos de mayor valor agregado, la búsqueda de materiales alternativos de menor impacto, la capacitación a los usuarios y la investigación de las condiciones de producción.

Art. 257.- Para las acciones de mitigación se implementarán, entre otras, aquellas tendientes a reducir emisiones de gases de efecto invernadero, incrementar sumideros de carbono y crear condiciones favorables para la adopción de dichas acciones en los sectores priorizados e impulsar iniciativas que se realicen sobre este tema de conformidad con los acuerdos internacionales ratificados por el Estado (Asamblea Nacional del Ecuador, 2018).

3.1.3 Plan Nacional del Desarrollo 2017 - 2021

El presente estudio se enmarca en los siguientes objetivos y políticas del Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021:

Objetivo3. Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones

Política 3.4. 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.

Política 3.5. Impulsar la economía urbana y rural, basada en el uso sostenible y agregador de valor de recursos renovables, propiciando la corresponsabilidad social y el desarrollo de la bioeconomía.

Política 3.6. Impulsar la generación de bioconocimiento como alternativa a la producción primario-exportadora, así como el desarrollo de un sistema de bioseguridad que precautele las condiciones ambientales que pudieran afectar a las personas y otros seres vivos.

Política 3.7. Incentivar la producción y consumo ambientalmente responsable, con base en los principios de la economía circular y bio-economía, fomentando el reciclaje y combatiendo la obsolescencia programada (SENPLADES, 2017).

3.1.4 Línea de investigación

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

3.2 Fundamentación teórica

3.2.1 Cambio climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) define al cambio climático como a la variación de los elementos que conforman el clima especialmente en los patrones de temperatura y precipitación; atribuido directa o

indirectamente a la actividad humana, alterando la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima, observada durante comparables períodos de tiempo (CMNUCC, 1992) .

El estudio del clima en los últimos años permite apreciar los cambios drásticos que experimenta el planeta, dichos cambios se evidencian en sistemas hidrológicos, sistemas naturales vinculados al hielo, alteraciones de la estructura térmica y calidad de agua (IPCC, 1995). Por lo que se reduce a efectos perjudiciales para todos los estratos sociales, evidenciándose por fuertes alteraciones climáticas, que han provocado inundaciones, sequías y aumento de enfermedades de transmisión hídrica, consecuencias que afectan directamente a la economía de las regiones (Useros, 2012).

Aunque los cambios que ocurren en el clima pueden ser el resultado de la variabilidad natural, también puede ser atribuido a los efectos de las actividades antrópicas, como se ha evidenciado en los últimos 50 años con el calentamiento del planeta. Atribuyendo al cambio de uso de suelo y la deforestación como las actividades de mayor impacto cita (IPCC, 1995).

3.2.1.1 Afectaciones del cambio climático

Se estima que un aumento y/o alteración de la temperatura por encima de los dos grados centígrados, puede provocar una fuerte desestabilización social, económica, ambiental y política; a nivel regional y mundial; además de amenazar contra la paz, seguridad y estabilidad de los pueblos (CIIFEN, 2017).

En Ecuador ya se evidencia los efectos de cambio climático, sobre todo en la sierra ecuatoriana, donde existe un retroceso del 40% de los glaciares más importantes del Ecuador, como en los volcanes Carihuairazo, el Antisana, Cotopaxi y Chimborazo (MAE, 2013).

Otros de los efectos notorios del cambio climático son los cambios en los regímenes de lluvias, el incremento de la temperatura media en todo el país, entre otros (MAE, 2013). Todos estos cambios han ubicado a las personas en una vulnerabilidad social, económica y ambiental.

3.2.1.2 Deforestación

Los bosques son considerados indispensables para la supervivencia de los seres humanos, puesto que, brindan productos forestales maderables y no maderables de consumo. Sin embargo, en las últimas décadas se ha notado su deterioro por el mal manejo y la sobreexplotación (FAO, 2015).

Se define como deforestación a la Transformación del bosque a otro uso de la tierra o reducción a largo plazo de la cubierta de copa por debajo del umbral mínimo del 30% correspondiente a la definición de bosque (FAOY MAGBMA 2018).

La deforestación es la principal amenaza para la conservación del patrimonio natural y uno de los factores incidentes en el cambio climático. Según el proyecto evaluación Nacional Forestal del Ministerio del Ambiente (2014), el Ecuador cuenta con una tasa de deforestación de 70000 ha. año⁻¹ (FAO, 2014), afectando directamente a la biodiversidad, los recursos hídricos, el recurso suelo y aumenta el grado de riesgo a deslaves, inundaciones en el país, generando pérdidas económicas en los sectores afectados (MAE, 2013).

Para hacer frente a este problema es necesario que se generen políticas e incentivos que fomenten el aprovechamiento sustentable y sostenible de los bosques. Con estas medidas se mantendrían las áreas forestales y se recuperará las áreas afectadas (MAE, 2014).

3.2.1.3 Cambio de uso del suelo

Es el cambio en los patrones naturales de los ecosistemas para la realización de agricultura y ganadería, o en algunos casos a la expansión de ciudades. El cambio de uso del suelo incrementa a medida que los asentamientos humanos se van expandiendo (FAO, 2011).

Para apreciar los cambios del uso del suelo las categorías propuestas por INEC (2012) son: cultivos permanentes, cultivos transitorios y barbecho, descanso, pastos cultivados, pastos naturales, montes y bosques, páramos y otros usos. Estas extensiones de uso de cobertura de suelo pueden ser cuantificados utilizando métodos SIG pudiendo visualizar notoriamente la pérdida de coberturas boscosas (Galeana Pizaña, Nirani Corona y Ordóñez Díaz, 2009).

De acuerdo con Metzger (2006) a nivel global en los últimos 50 años se pueden apreciar cambios importantes e intensos en la cobertura vegetal; produciendo fragmentación y pérdida de hábitat eliminando especies locales y perturbando el funcionamiento de los ecosistemas.

3.2.1.4 Gases de efecto invernadero

Se denomina efecto invernadero al fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de la atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar (IPCC, 1995).

CIIFEN (2017) menciona que los gases de efecto invernadero son integrantes de la atmósfera, de origen natural y antropogénico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de ondas del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera, y las nubes. Esta propiedad causa el efecto invernadero. El vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4), y ozono (O_3) son los principales gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre. Además, existe en la atmósfera una serie de gases totalmente producidos por el hombre, como los fluoroclorocarbonados (FCC), de las que se ocupa el Protocolo de Montreal.

3.2.1.5 Dióxido de Carbono

El gas de efecto invernadero se halla en concentraciones relativamente bajas en la atmósfera, con un 0,03%. Pese a sus niveles bajos, se trata del mayor impulsor del calentamiento global. Hoy en día, existe alrededor de tres trillones de toneladas de CO_2 en la atmósfera, representa un 27% superior al nivel anterior a la Revolución Industrial. Cabe recalcar que, a finales del siglo XIX, los niveles de dióxido de carbono eran de 280 partes por millón (ppm); mientras que en la actualidad las concentraciones están alrededor de 380 ppm. (Useros, 2012). En la siguiente tabla se hace referencia los diferentes orígenes y fuentes del CO_2 .

Tabla 1*Fuentes de emisión y actividades que producen CO₂.*

Gas efecto invernadero	Fuente	Actividad
Dióxido de Carbono (CO ₂)	- Quema de y - ecombustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural) - Deforestación - Cambio de uso de suelo - Quema de bosques - Transporte y generación térmica - Forestal - Agricultura - Incendios forestales	- Transporte y generación térmica - Forestal - Agricultura - Incendios forestales

Fuente: Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático – Ecuador, 2011

El ciclo del carbono empieza con la fijación del CO₂ atmosférico a través de los procesos de fotosíntesis que realizan las plantas y algunos microorganismos. En este ciclo, el CO₂ y el H₂O reaccionan para formar carbohidratos y simultáneamente liberar oxígeno, que posteriormente pasa a la atmósfera. Una parte de los carbohidratos se consumen directamente para suministrar energía a la planta, y el anhídrido carbónico, se libera a través de sus hojas o de sus raíces. Otra parte es consumida por los animales, que también liberan dióxido de carbono en sus procesos metabólicos. Las plantas y los animales muertos son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo, lo que da como resultado que el carbono de sus tejidos se oxide en anhídrido carbónico y regrese a la atmósfera (Orellana, Sandoval, Linares, y Tmariz, 2012).

La capacidad que poseen las coberturas vegetales por medio de sus funciones metabólicas en las cuales capturan CO₂ para transformarlo en compuesto orgánico que pasa a ser parte de su estructura; se puede catalogar a la dinámica del carbono por dos ámbitos en las cuales tenemos el flujo de carbono y el almacenamiento de carbono.

3.2.1.6 Sumideros de carbono

Se considera sumidero al “área por donde son canalizados el agua, los nutrientes o cualquier tipo de compuesto, físico o químico, o que sirve de almacén. En la actualidad este término se aplica a los bosques para significar su papel en la absorción del anhídrido carbónico de la atmósfera y la consiguiente reducción del efecto invernadero. El concepto

de sumidero, en relación con el cambio climático, fue adoptado en la Convención Marco de Cambio Climático de 1992.

Un sumidero de gases de efecto invernadero es cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe o elimina de la atmósfera uno de estos gases o uno de sus precursores (CMNUCC, 1992). En el ámbito del Protocolo de Kioto, la definición se limita a determinadas actividades de uso del suelo y silvicultura (creación de nuevos bosques, gestión forestal y gestión de tierras agrícolas, entre otras) que se traducen en una captura del CO₂ presente en la atmósfera y su almacenamiento posterior en forma de materia vegetal. Esta captura de CO₂ contribuye a reducir la concentración de los Gases de Efecto Invernadero de la atmósfera y, por lo tanto, a mitigar el cambio climático (Macias, 2004).

El océano ha absorbido alrededor del 30% del CO₂ antropógeno emitido, provocando la acidificación del océano. Los sumideros relativos a la incorporación oceánica y la vegetación con suelos representan, aproximadamente en la misma medida (Harrould y Savitz, 2009).

El cambio climático compensará parcialmente los aumentos en los sumideros de carbono terrestres y oceánicos provocados por el aumento del CO₂ en la atmósfera, con lo que quedará retenido en ella una mayor proporción del CO₂ antropogénico emitido, lo que contribuirá al calentamiento (Brown, 1997) .

3.2.1.7 Carbono en ecosistemas forestales

Los bosques tienen un rol importante no solo como factor de desarrollo y sostenibilidad, sino juegan un papel de protagonismo a nivel mundial por su capacidad de almacenamiento y fijación de carbono (Cruzado, 2010) .

Se estima que el 80% de carbono proviene de la vegetación y el suelo. El carbono atmosférico es sintetizado por las especies vegetales por medio del proceso anabólico conocido como fotosíntesis (Pérez, 2009). Al incorporarse el carbono los árboles empiezan a crecer realizando una función como sumidero, asumiendo un rol importante en el balance de carbono reduciendo el CO₂ existente en la atmósfera (Chimbo, 2016).

3.2.1.8 Importancia de las formaciones forestales en la captura de carbono

FAO (2002) menciona que los bosques cubren el 29% de las tierras y contienen el 60% del carbono de la vegetación terrestre. El carbono almacenado en los suelos forestales representa el 36 % del total del carbono del suelo a un metro de profundidad (1500 Pg).

Los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de la tierra y sus suelos que contienen cerca del 40 % del total del carbono; son de importancia primaria cuando se considera el manejo de los bosques (Pérez y Bonilla, 2015).

Por lo general, en los bosques naturales el carbono del suelo está en equilibrio, pero tan pronto como ocurre la deforestación o la reforestación, ese equilibrio es afectado. Hoy en día, se estima que cada año son deforestadas entre 15 y 17 millones de hectáreas, sobre todo en los trópicos (FAO, 1994) y que muy a menudo parte del carbono orgánico se pierde dando lugar a una considerable emisión de CO₂. Por lo tanto, donde la deforestación no puede ser detenida, es necesario un manejo correcto para minimizar las pérdidas de carbono. La reforestación, sobre todo en los suelos degradados con bajo contenido de materia orgánica, será una forma importante de secuestro de carbono a largo plazo, tanto en la biomasa como en el suelo (FAO,2002).

3.2.2 Ecuador frente al cambio climático

En el país en el 2012, el Ministerio del Ambiente, a través de la Subsecretaría de Cambio Climático, presentó oficialmente la “Estrategia Nacional de Cambio Climático”. Documento que planteó los lineamientos y políticas específicas que guían adecuadamente el camino a seguir para afrontar desde el Estado el fenómeno del cambio (MAE, 2012).

Lo cual permitirá al país llevar a cabo planes como gestión de recursos hídricos y cuencas hidrográficas, así también la protección del ecosistema alto andino. Es preciso mencionar que también está enfocado en la elaboración y ejecución del plan REDD+, En beneficio de todos los sectores de acción del País (MAE, 2012).

3.2.3 Políticas estratégicas para hacer frente al cambio climático.

En el mundo los impactos del cambio climático han sido cada vez más notorios, es de ahí de donde nace la necesidad de crear políticas más estrictas hacia los usos de los recursos naturales (Ibárcena y Scheelje, 2003)

Desde el año 1992 en Marco de la Cumbre de las de las Naciones Unidas que se llevó a cabo en Río de Janeiro se reconoció, al cambio climático como un problema; proponiéndose como objetivo la estabilización de los gases de efecto invernadero. Los países pertenecientes a este tratado se reúnen anualmente en la conferencia de las partes para tratar medidas de adaptación y mitigación al cambio climático (CMNUCC, 1992).

Otros de las acciones primordiales para hacer frente al cambio climático es aportación de programas REDD+ (Reducción de las Emisiones debidas a la Deforestación y la Degradación de Los Bosques) los cuales tienen como objetivo implementar programas con beneficios económicos y ambientales, a través de beneficios Múltiples, medidas y Acciones REDD+, externalidades, normativa nacional (Acuerdos Ministeriales), desarrollo de capacidades y generación y difusión de información a través de procesos participativos (Proaño y Ortiz, 2015).

3.2.4 Mecanismos de determinación de carbono almacenado

Para la determinación de carbono almacenado en los bosques se emplean estrategias y métodos que se ajusten entre sí para generar información de cuantificación que nos permitirá conocer el estado actual y un adecuado manejo de las áreas forestales según lo propuesto por Fonseca, Alice y Rey (2009).

Existen varias formas de mecanismos que permiten determinar la cantidad de carbono almacenado en los bosques. La utilización de cada uno de estos mecanismos se define en el tipo de cobertura vegetal en la que nos encontremos (Fonseca et al., 2009).

En las plantaciones forestales se utiliza la técnica de método destructivo el cual genera mayor impacto a comparación del método no destructivo en donde se la puede utilizar en reservas o bosques nativos (Jandl, 2001).

- a. **Método destructivo:** También denominado método directo en donde se establece medir los parámetros básicos de un árbol (entre los más importantes el diámetro a la altura del pecho, altura total, diámetro de copa y longitud de copa); talar y calcular la biomasa pesando cada uno de los componentes: fuste, ramas y follaje (Lozano, 2015).
- b. **Métodos no destructivos:** También denominado método indirecto, se lleva a cabo a través de ecuaciones y modelos matemáticos obtenidos por análisis de regresión entre las variables colectadas en terreno y en inventarios forestales (Fonseca, Ruiz, Rojas y Alice, 2013) . La utilización de este método básicamente consiste en cubicar los árboles y estimar volúmenes de la madera mediante la toma de muestras, se puede estimar parámetros necesarios como el peso seco y la densidad de la madera necesarios para estimar la biomasa total (Fonseca, 2017).

3.2.4.1 Estimación de biomasa y carbono mediante modelos alométricos

Los modelos alométricos son ecuaciones matemáticas que permiten estimar el volumen, biomasa y el carbono de los árboles en función de variables de fácil medición, como el diámetro a la altura del pecho (DAP) y/o la altura total de los árboles (Lerma y Orjuela, 2014).

Rondeux (2010), menciona los proyectos de cuantificación de carbono en bosques, plantaciones o sistemas agroforestales es fundamental la generación de 24 modelos alométricos locales para la adecuada estimación del carbono almacenado en estos ecosistemas. Se debe ejecutar un muestreo destructivo de manera obligatoria para el desarrollo de estos modelos.

3.2.4.2 Criterios para la selección de modelos alométricos

Para seleccionar el modelo que se ajuste más a los datos se evalúa cada modelo con los siguientes mecanismos (Segura y Andrade, 2008).

- a. **Coefficiente de determinación:** Indica la proporción de la variación total observada en la variable dependiente explicada por el modelo (Andrade y Segura, 2008).
- b. **Coefficiente de determinación ajustado:** Es una variable del coeficiente de determinación que no necesariamente aumenta una variable independiente adicional en el modelo, debido a que penaliza la inclusión de nuevas variables independientes (Andrade y Segura, 2008).

- c. **Error cuadrático medio de predicción:** Los modelos seleccionados por su mayor capacidad de ajuste son aquellos que expresan el menor valor en el criterio (Ferriols, Alos, Rius y Navarro, 1995; citado por Lerma y Orjuela, 2014).
- d. **Criterio de información akaike:** Se usa para penalizar un exceso de parámetros ajustados a diferencia del chi – cuadrado (Moret y Ruíz, 1998; citados por Lerma y Orjuela, 2014; Álvarez, 2008).
- e. **Criterio de información bayesiano:** Es un criterio para la selección de modelos entre un conjunto limitado de modelos. Se basa en la función de probabilidad y que está estrechamente relacionado con el AIC (Lerma y Orjuela, 2014).
- f. **Índice de Furnival (IF):** que permite comparar modelos lineales con aquellos donde la variable dependiente es transformada. El IF en modelos sin transformar es igual al error estándar de la estimación. Cuanto más pequeño es el IF mejor es el ajuste del modelo. (Segura y Andrade, 2008).
- g. **Lógica biológica del modelo:** Se realiza un balance entre la rigurosidad estadística y la practicidad en el uso de los modelos alométricos comparando los valores estimados por cada modelo con los valores que el investigador esperaría. (Segura y Andrade, 2008).

3.2.5 Bosques en el Ecuador

El Ecuador se caracteriza por su gran riqueza en diversidad de sus ecosistemas boscosos representando al 42% del territorio nacional. El 80% se encuentra en la Región Amazónica, el 13% en el litoral y un 7% en la Sierra (MAE, 2013).

En la Amazonía, por diversos factores, la colonización ocasionó una agricultura itinerante, que amenaza gravemente con una depredación gradual de los recursos forestales (MAE, 2013). En la Costa, donde la colonización se intensificó a partir de 1964 por la expansión de la frontera agrícola, las áreas cubiertas con pastizales ocupan aproximadamente cinco millones de hectáreas. En la Sierra son conocidos los efectos originados por la intensa colonización, que redujo la cobertura boscosa a menos del 7% del área original. (FAO, 2010)

3.2.5.1 *Bosque nativo*

Tierras que se extienden por más de 0,5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 5 m y una cubierta de dosel superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ. No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano (FAO, 2015).

A pesar de las definiciones que proponen diferentes organizaciones, excluyen todas las relaciones y funciones que se realizan en los bosques. Un bosque es un espacio en donde existen especies forestales, arbustivas, orquídeas y animales silvestres, en el cual se realizan un sin número de interrelaciones (Franquis y Infante, 2003).

3.2.5.2 *Bosque andino*

Los bosques andinos presentan una extensa diversidad de ecosistemas montanos presentes en condiciones bioclimáticas secas, estacionalmente húmedas, ubicadas en pronunciados gradientes ambientales acoplados a la compleja topografía de los Andes. (CONDESAN, 2019).

Los bosques contribuyen a la reducción de vulnerabilidad de los diferentes ecosistemas e incrementar resiliencia, por ende, contribuir con la adaptación al cambio climático. Por otra parte, se menciona a los bosques como reservorios de carbono y el potencial de captura de gases de efecto invernadero, cuyo rol ayuda a mitigar el cambio climático (Franquis y Infante, 2003). Es importante considerar y reconocer este doble rol de los bosques cuando se definan estrategias de conservación y manejo sostenible. (HELVETAS, 2019).

3.2.5.3 *Evaluación nacional forestal*

Segura, Jiménez, Chinchero, Iglesias y Sola, (2015), menciona que en el 2009 surge el proyecto Evaluación Nacional Forestal (ENF) como una iniciativa liderada por parte del Ministerio de Ambiente del Ecuador y el acompañamiento técnico de la FAO y el generoso soporte financiero del Gobierno de Finlandia.

Desde el año 2010 hasta la fecha, se han alcanzado resultados muy importantes en función de los tres componentes de la ENF, los que se pueden evidenciar en los detalles técnicos, cartográficos, metodológicos y reflexivos (MAE, 2014).

La ENF se proyectó como un instrumento multipropósito con la capacidad de:

- Suministrar datos para promover el Manejo Forestal Sustentable (MFS).
- Identificar los parámetros para acceder a mercados internacionales de carbono.

3.2.6 Bosque Protector de los Arrayanes

El bosque de Los Arrayanes está clasificado como bosques siempreverde andino montano. Se caracteriza por estar dominado por la especie de *Myrcianthes hallii* (Arrayan). Se considera como un bosque milenario, sus árboles se encuentran de 7-16 metros de altura, sus copas son densas, con ramas y troncos nudosos (MAE, 2012).

El bosque de los arrayanes perteneciente al Gobierno Autónomo Descentralizado de Montufar, siendo una reserva natural en donde se pueden apreciar una belleza paisajística destacando la cantidad de orquídeas y aves que se encuentran en el lugar.

3.2.7 Taxonomía y morfología de la especie vegetal dominante

Taxonómicamente *Myrcianthes hallii*, se clasifica:

División: Magnoliophyta

Orden: Myrtales

Familia: Myrtaceae

Género: *Myrcianthes*

Especie: *Myrcianthes hallii*.

La especie es originaria de América del Sur, se encuentran en las Cordillera Central y Oriental. Su desarrollo se da en bordes de los bosques o en los potreros generalmente de las tierras frías. Se considera una especie dominante por la grande longitud de su copa (MAE, 2013).

Árbol de hasta 20 m de altura y un 1m de diámetro, simpódico ramificado a la altura media del fuste. Troco liso blanquecino, corteza externa desprendiéndose en láminas rectangulares quebradizas, corteza interna blanquesina fragante. Hojas opuestas decusadas,

crasas, glabras, ovadas-elípticas, nervación obscuramente broquidódroma. Inflorescencia en dicasio, fruto una drupa (Palacios, Árboles del Ecuador: Familias y Géneros, 2016).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

4.1 Delimitación del área de estudio

Se utilizó un navegador GPS de marca GARMIN GPS map 60CSx con precisión de ± 5 m para tomar puntos cada 50 m alrededor del bosque. Los datos se procesaron en el software ArcGIS 10.3 @, obteniendo el perímetro del bosque, mismo que sirve de referencia para elaborar el mapa de ubicación.

4.2 Tamaño de la muestra

El inventario se realizó bajo un esquema de muestreo sistemático con una intensidad del 5%, en base a la metodología establecida por Orozco y Brumér (2002). Para distribuir las parcelas de muestreo se elaboró una rejilla de 20 x 25 m que se sobrepuso al mapa base, se escogió la primera parcela de forma aleatoria y secuencial.

El muestreo sistemático tiene la ventaja de obtener información de una manera aleatoria con sencillez y precisión. Para la definición de la parcela se determinó la parcela número siete y se fueron considerando intervalos de tres parcelas siendo la cuarta la elegida para la toma de datos.

Para el cálculo del tamaño de la muestra y el número de parcelas se utilizó la fórmula establecida por Orozco y Brumér (2002), que se expresa en la ecuación 1.

$$n = i \times N \qquad \text{Ec.1}$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra.

i: Intensidad de muestreo.

N: Número de parcelas.

4.2.1 Forma y tamaño de la unidad primaria de muestreo (UPM).

En la metodología planteada por Gasparri y Manghi (2004), cada UPM cuenta con tres subparcelas identificadas como "A", "B" y "C" (*Ver Figura 1*). En estas se realizó los siguientes procedimientos:

- a. **Parcela "A"**, de 20 m x 25 m (500 m²), se midió a los árboles con DAP igual o mayor de 10 cm.
- b. **Parcela "B"**, de 0.15 m x 0.15 m (0.0225 m²), se pesó el detritus muerta encontrada en la superficie de estas parcelas.
- c. **Parcela "C"**, es de forma circular con una dimensión de 0.0508 m (0.002026 m²) de diámetro, para la obtención de la muestra de suelo.

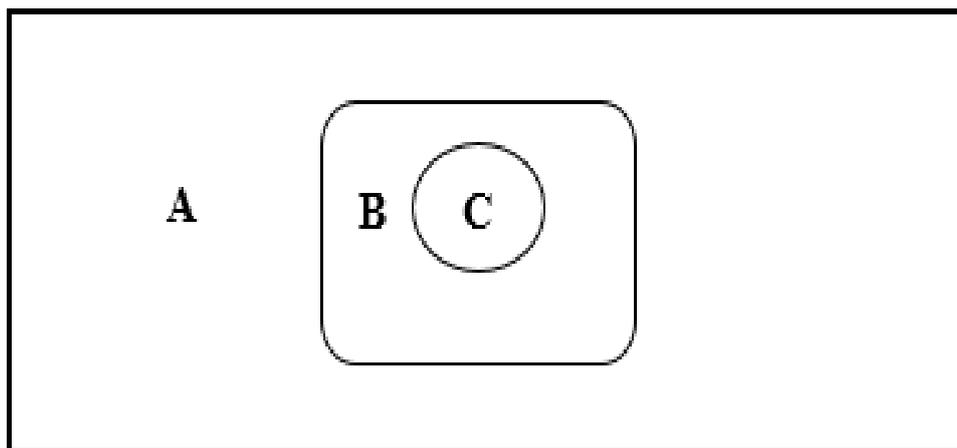


Figura 1. Esquema de las parcelas primaria de muestreo (UPM).

4.3 Variables dasométricas

Para la toma de las variables dasométricas se midieron todos los árboles mayores a 10 cm de DAP existentes en la parcela A (*Ver Figura 1*).

El diámetro de los árboles fue medido a una altura aproximada al 1.30 m, del nivel medio del suelo utilizando una cinta diamétrica, en la cual se tomó en cuenta las condiciones de suelo, deformaciones y ramificaciones.

Si el árbol se encuentra en una superficie inclinado el DAP se tomó la medición del árbol de la parte más alta de la pendiente.

Los árboles que poseían deformaciones a la altura del DAP de altura se tomaron dos mediciones una al comienzo y otra al final de la deformación, previo eso se utilizó su promedio.

Los árboles que poseían ramificaciones antes de los 1.30 m fueron considerados como arboles individuales.

La medición de la altura total y comercial se realizó con el hipsómetro, la altura total se consideró desde la base hasta el ápice del árbol, tomando en cuenta la copa. La altura comercial se considera desde la base del árbol hasta la primera ramificación del árbol.

El diámetro de la copa fue extraído mediante la proyección sobre el plano horizontal, la cual fue medida desde la base del árbol hasta el límite de la copa (considerando la rama más larga) con la ayuda de una cinta métrica. Si la copa es circular se tomó cuatro medidas de radio y si la copa tiene una forma indefinida se tomó ocho radios; posteriormente se calculó su promedio.

Para el cálculo del volumen se aplicó la fórmula propuesta por el MAE Acuerdo Ministerial 125 la cual se expresa en la ecuación 2:

$$V = AB \times h \times fr \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

V: Volumen (m^3).

AB: área basal (m^2).

h: altura (m).

fr: factor de forma. Equivalente a 0.7

4.4 Determinación de biomasa de individuos muestreados

Se seleccionó un individuo por cada (UPM) tomando medidas de las siguientes variables: circunferencia a la altura del pecho, altura total, altura comercial, diámetro de copa.

4.4.1 Biomasa Aérea

La determinación de biomasa aérea se la calculo por dos secciones arbóreas diferentes, una correspondiente a la biomasa del fuste y la otra correspondiente a la copa, previo a esto se realizó una suma de las secciones dando la biomasa aérea total.

4.4.1.1 Biomasa del fuste

Se aplicó la metodología propuesta por Brown (1997) en donde la biomasa del fuste se determina multiplicando el volumen por la densidad de la madera.

Para la determinación de la densidad de la madera de *Myrcianthes hallii* se realizó el procedimiento propuesto por (Chave, 2006)).

- De los individuos seleccionados en cada una de las parcelas “A”; se obtuvo una muestra de madera con la ayuda de un barreno de Pressler, tomados a la altura del DAP (Chave, 2006).
- Las muestras obtenidas se almacenaron en fundas y fueron debidamente codificadas.
- Se calculó el volumen de las muestras empleando la ecuación 3

$$V_{vm} = 3.1416D^2 \times L/4 \quad \text{Ecu. 3}$$

Donde:

V_{vm}: Volumen en verde estimado del cilindro de la muestra (cm³)

D: Diámetro interior del cilindro del taladro de Pressler (0.5 cm)

L = largo de la muestra de madera (cm)

- Se deshidrató las muestras en una estufa a una temperatura que varía entre 105 – 110 °C durante 24 horas (Valencia y Vargas , 1997).
- Se determinará el peso anhidro (Po) de las muestras mediante una balanza analítica.
- Finalmente, la densidad de la madera se obtuvo mediante la aplicación de la ecuación 4 (Valencia y Vargas , 1997).

$$Db = Po/V_{vm} \quad \text{Ecu. 4}$$

Donde:

Db: Densidad básica de la madera. (g/cm³).

Po: Peso anhidro de la muestra (g).

Vvm: Volumen en verde de la muestra (cm³)

4.4.1.2 Biomasa de la copa

La biomasa de la copa se empezó con un conteo de ramas existente en los individuos seleccionados por UPM; estimando un número promedio de ramas y relacionarlo con el volumen de estas.

La obtención de la cantidad de biomasa de la rama se determinó mediante el siguiente proceso.

- Medida de la rama en todas sus dimensiones; largo ancho y profundidad.
- Toma del peso de la rama en verde.
- Secado de la rama en una estufa a 100°C durante 48 horas.
- Peso de la rama en seco.
- Una vez que las muestras alcanzaron su estado anhidrido se aplicó la siguiente formula:

$$B = \frac{PF \times MS}{100} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

B: Biomasa (kg)

PF: Peso Fresco (kg)

MS: Materia Seca (%)

4.5 Formación de fórmulas alométricas

Se organizó la información de cada individuo, en una matriz de doble entrada donde se ubicó en la misma fila los datos de las variables independientes que se obtuvieron en campo como son: DAP, altura total, altura comercial y área de copa. Así mismo con la variable dependiente, es decir, la biomasa (Oyos, 2019).

A continuación, se realizó el gráfico de la biomasa contra cada variable independiente para observar la tendencia del gráfico y definir si el modelo a utilizar es lineal o no. La selección del

modelo alométrico que mejor se ajuste a los datos se lo va a realizar a partir de los siguientes criterios

El coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de determinación ajustado (R^2 -ajus.) nos dan valores entre -1 y 1, mientras más cercano sea el valor a 1 mejor es el ajuste al modelo.

El error estándar de la estimación o raíz cuadrada media del error se calcula aplicando la ecuación 7:

$$RCME = \sqrt{\frac{SCR}{n-p}} \quad \text{Ec.7}$$

Donde:

RCME: raíz cuadrada del error

SCR: Suma del cuadrado de los residuos

n: número de observaciones

p: número de parámetros del modelo lineal

Otro indicador que se utilizó es la suma de cuadrados de los residuos predichos, que se calculó con la ecuación 8:

$$PRESS = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_{ip})^2 \quad \text{Ec.8}$$

Donde:

PRESS: suma de cuadrados de los residuos de los predichos

Y_i : valor observado

\hat{Y}_{ip} : valor predicho

Una vez seleccionados los cinco fórmulas se graficó los valores estimados (x), versus los valores observados (y) para cada modelo. Finalmente se eligió a la fórmula que más se ajustó a los datos.

4.6 Biomasa de detritus

En la parcela “C” se recolectó todo el detritus existente dentro de la parcela en una funda Ziploc codificando cada muestra, posteriormente se procedió a pesar con una balanza electrónica registrando su valor en una tabla de doble entrada.

Cada una de las muestras fueran llevadas al Laboratorio de Anatomía de la Madera y Xiloteca de la Universidad Técnica del Norte en donde se secaron utilizando una estufa a 100 °C durante 24 horas, previo a esto se tomaron nuevamente datos de su peso y se colocaron nuevamente las muestras durante el mismo periodo de tiempo a la misma temperatura. Ya hecho este procedimiento se volvió a tomar los valores de su peso, si las muestras no exponen alteraciones se procedió aplicar la ecuación 9 (Cruzado, 2010).

$$Bh = \frac{Psm}{Pfm} * Pft \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

Bh: biomasa del detritus muerta (g).

Psm: peso seco de la muestra (g).

Pfm: peso fresco de la muestra (g).

Pft: peso fresco total por metro cuadrado (g).

4.7 Biomasa por debajo del suelo

La biomasa por debajo del suelo fue estimada con ayuda de un factor de expansión; debido a que en el área de estudio no se pueden realizar actividades destructivas.

El coeficiente de expansión propuesto por el IPCC tiene un valor de 0.24 por lo que se multiplicó la biomasa por encima del suelo por el mencionado coeficiente.

4.8 Determinación biomasa total

Para la determinación de la biomasa total se realizó un cuadro de doble entrada en donde se especificó la cantidad de biomasa total por compartimento y se aplica la ecuación 10.

$$B_T = B_A + B_{PS} + B_D \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

B_T = Biomasa total

B_A = Biomasa aérea

B_{PS} = Biomasa por debajo del suelo

B_D = Biomasa de detritus

4.9 Determinación de carbono

La conversión de biomasa a carbono depende de los factores de conversión. Estos van variando según el grado de descomposición que tengan los diferentes compartimientos. Los cuales están detallados en la siguiente tabla excepción del carbono existente en el suelo.

Tabla 2

Factores de conversión por compartimiento.

Compartimiento	Factor de conversión
Carbono de la parte aérea	0.50
Carbono de detritus	0.44
Carbono por debajo del suelo	0.50

El carbono en el suelo se procedió a extraer una muestra de suelo con un tubo de dos pulg de diámetro a una profundidad entre 25 y 50 cm, sin tomar el detritus, consecutivamente se envió las muestras al laboratorio de agro calidad para la determinación de la cantidad de detritus existente en la muestra (anexo 1). Seguidamente la estimación de carbono se relacionó la cantidad de detritus por un factor empírico el cual esta expresado en la ecuación 11. A partir de la determinación de la densidad aparente del suelo se puede expresar el carbono orgánico en stock ($Mgha^{-1}$).

$$\%C. \textit{organico} = \% \textit{Detritus} / 1.724 \quad \text{Ec. 11}$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Definición del área de estudio

El bosque posee una extensión de 18.06 ha, con pendientes entre el 40 y 60%, forma asimétrica, rodeada de predios agrícolas y ganaderos que ejercen una gran presión en el bosque. Según sistema de clasificación de ecosistemas del Ecuador continental el Bosque “Los Arrayanes” se cataloga como un bosque siempre verde andino montano (MAE, 2013). Esta clasificación ayudó a comparar los resultados obtenidos en la presente investigación con estudios realizados en estos tipos de ecosistemas, considerando la escasa información en la especie arrayan y del bosque mismo.

Unas de las características del bosque es poseer una cobertura densa en sus copas, este número de renuevos es considerable para que se mantenga el ecosistema, aunque, durante el recorrido se constató visualmente el deterioro que causan al renuevo el ganado bovino y equino existente alrededor del bosque, provocando que el bosque impida su expansión a su alrededor.

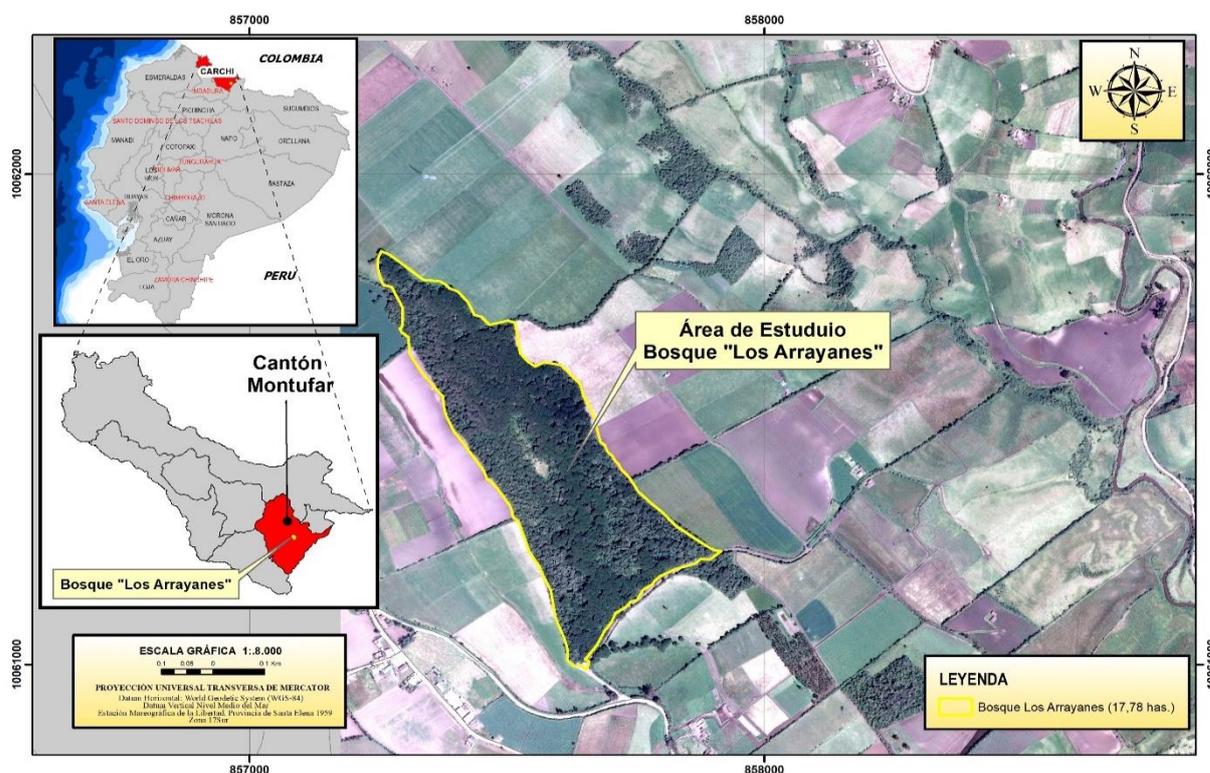


Figura 2. Mapa de estudio de ubicación del bosque Los Arrayanes.

5.2 Tamaño de la muestra

Se obtuvieron 300 parcelas completas; cabe mencionar que para este conteo no se consideraron las unidades incompletas ni aquellas del perímetro por el efecto de borde como se observa en la *Figura 3*. Posterior al cálculo del tamaño de muestra resultante fue de 18 unidades primarias de muestreo.

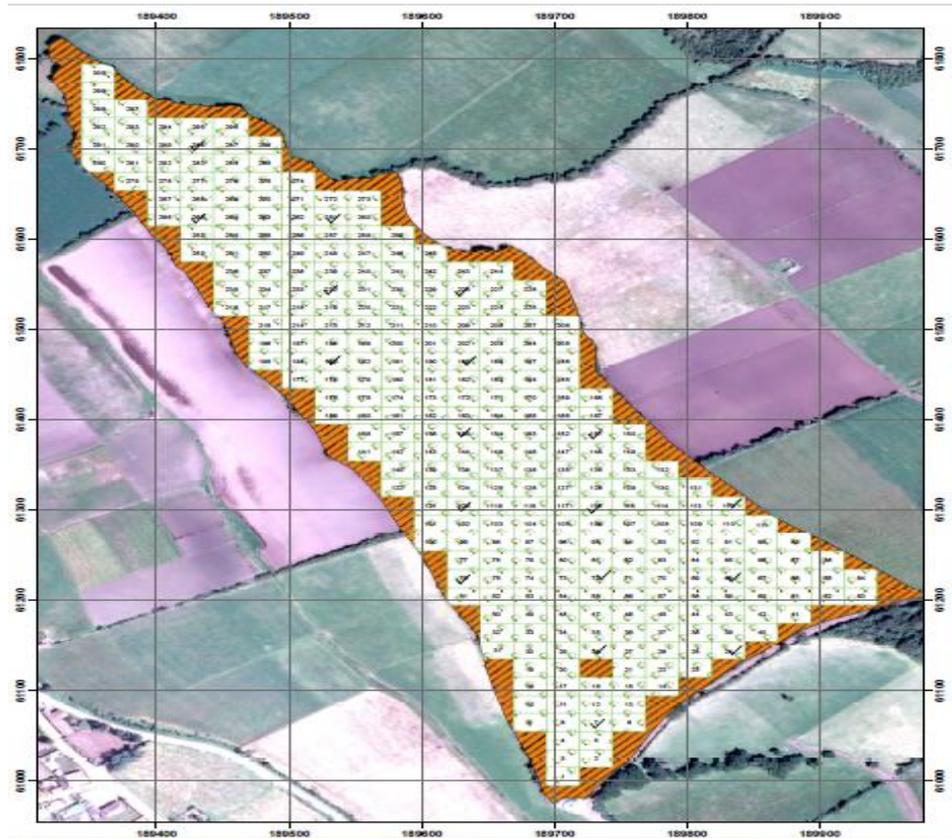


Figura 3. Unidades primarias de muestreo evaluadas.

Al realizar el inventario forestal con las diferentes variables dasométricas se obtienen los siguientes datos expresados en promedio por cada unidad primaria de muestreo (ver Tabla 3), en donde al efectuar el análisis estadístico los valores obtenidos se expresan relativamente heterogéneos.

En el estudio realizado Palacios y Pereira (1998) en la misma área de estudio registra en 1000 m² un promedio de 80 individuos de la especie *Myrcianthes hallii* un valor comparativamente alto al promedio obtenido en el presente estudio en donde se registra un total de 17 árboles por 500 m²; esta diferencia se debe que los mencionados anteriormente realizan la toma de datos de individuos de $\geq 2,5$ cm de diámetro.

Según la Evaluación Nacional Forestal (MAE, 2014), se registraron en bosque siempre verde andino montano, que alrededor del 60% de los individuos se encontraban, en la clase diamétrica de 10 a 20 cm de DAP; mientras que, aproximadamente del 30% pertenecían a la clase diametral de 20 a 40 cm. En el presente estudio se observa que a nivel de los promedios por parcelas se encuentran principalmente en la clase de 20 a 40 cm.

Tabla 3

Información del inventario forestal.

UPM	Número de arboles	DAP cm	Altura total m	Altura comercial m	Diámetro de copa m
7	11	0.42	12.27	6.32	9.22
24	13	0.40	13.00	5.85	9.30
28	7	0.35	12.57	5.43	8.00
68	4	0.44	13.50	5.50	8.51
72	10	0.51	14.00	5.80	10.53
76	16	0.32	12.19	6.80	8.03
112	7	0.34	12.43	5.71	11.31
116	7	0.48	12.29	5.71	10.42
151	11	0.48	14.00	5.78	8.28
155	25	0.24	11.36	5.85	6.00
189	27	0.26	11.63	5.75	5.55
193	34	0.18	10.79	4.21	5.82
228	13	0.38	12.92	6.58	5.86
232	11	0.30	12.18	5.32	4.11
261	21	0.36	12.67	6.81	5.80
269	33	0.26	11.58	6.39	5.65
288	37	0.28	11.78	6.46	7.38

Las variables dasométricas DAP y diámetro de copa, con promedios 0.35 y 7.63 m respectivamente, presentan un similar coeficiente de variación. Las variables de altura total y comercial obtuvieron coeficientes de variación relativamente bajos.

La comparación de estos resultados se los realiza con la especie *Eugenia hali* la cual pertenece a la familia Myrtaceae. Burbano y Apugllón, (2015) en el bosque Jacarón, provincia de Chimborazo, registraron un DAP promedio para *Eugenia hali* de 14.7 cm, valor

sumamente inferior al registrado en la presente investigación; posiblemente se debe a que el bosque en estudio es monoespecífico, mientras que el de Jacarón presenta 26 especies, incluido *Myrcianthes hallii*.

A su vez Zamora y Ramírez (2019) en el bosque de Cochapamba, provincia de Imbabura registraron un DAP promedio de 16 cm; valor similar al obtenido por los autores anteriormente mencionados; así también, registraron una media de altura de 6.92 m, sumamente inferiores a los registrado en el presente estudio; sin embargo, para la especie *Myrcianthes rhopaloides* determinaron valores promedios de DAP promedio y altura total de 17.58 cm y 7.62 m respectivamente.

5.2.1 Volumen

El volumen total promedio por hectárea fue de 348.01m³, mientras que para el volumen comercial fue de 162.36 m³. Los coeficientes de variación son altos debido principalmente a la heterogeneidad del número de árboles por parcela.

El MAE, en el 2014 expone en los resultados de la Evaluación Nacional Forestal, que para este tipo de bosque el volumen total promedio es de 124.5 m³ha⁻¹, mientras que el volumen comercial u aprovechable es 56.2 m³ha⁻¹, que equivale al 45.2% del volumen total. En el bosque de Los Arrayanes se registran valores muy superiores a los registrados por el MAE; esta gran diferencia se debe a las dimensiones en DAP y altura que poseen los individuos existentes en el bosque, criterio trascendental considerando que el volumen se deriva de este tipo de variables.

Sin embargo, la relación porcentual entre los volúmenes calculados es de 46.6%, similar al determinado en la Evaluación Nacional Forestal.

5.3 Biomasa aérea de individuos muestreados.

Extraído el volumen promedio existente en UPM y por hectárea se estima la cantidad de biomasa a hallarse por componente del bosque.

La densidad de la madera es una propiedad influyente con el uso final de la misma; de esta depende los procesos de transformación que se los puede aplicar (Quintanar, 2002).

La densidad de la madera depende de la altura y edad del árbol; pero la altitud también es un factor influyente pues la densidad tiende a ser directamente proporcional a la altitud donde se desarrolle la especie; es decir en zonas más altas se encontrarán densidades altas (Tamarit y Fuentes, 2003). Los individuos muestreados son considerablemente altos y de una gran edad y considerando que el bosque se encuentra alrededor de los 2800 msnm lo que favorece a tener una densidad alta de la especie.

Se determinaron densidades que oscilan entre 0.63 y 0.87 gcm⁻³ con una media general de 0.73 gcm⁻³, que Según las normas Instituto Ecuatoriano de Normalización de la República del Ecuador está considerada una densidad de madera alta (INEN, 2011).

En la Tabla 4 sería se representa los valores de biomasa aérea determinada por los individuos muestreados; los cuales se tienen valores heterogéneos por lo que se encuentran en diferentes clases diamétricas.

Tabla 4

Contenido de biomasa de individuos muestreados.

Número de individuos	Biomasa Total (Mg)
1	0.271
2	0.059
3	0.881
4	0.335
5	0.380
6	0.069
7	0.238
8	0.170
9	0.258
10	0.911
11	0.065
12	1.966
13	0.295
14	0.156
15	0.339
16	0.115
17	0.346
18	0.340

5.3.1 Biomasa por debajo del suelo

La biomasa por debajo del suelo a referirse a las raíces gruesas y delgadas del bosque, ya relacionando la biomasa de la parte aérea como se estableció en la metodología. Se encuentra un valor de 31.92 Mgha⁻¹.

Comparando el estudio con el realizado por Sierra, del Valle y Orrego (2001), en el cual obtuvieron un resultado de 54.78 Mgha⁻¹ y el de Schlegel (2001), el cual obtuvo un promedio de 90.96 Mgha⁻¹, se obtuvo un valor bajo por lo cual se considerará establecer una proporcionalidad equivalente a la relación entre biomasa aérea y biomasa por debajo del suelo. En la Tabla 5 igual corrección de la numeración se representa el contenido de biomasa por unidad de superficie.

Tabla 5

Contenido de biomasa por debajo del suelo

SUPERFICIE	BIOMASA (Mg)
UPM	1,60
Hectárea	31,92
Área total	576,53

5.3.2 Biomasa del detritus.

El bosque los arrayanes se ha encontrado un valor de a 56.50 Mgha⁻¹, un valor relativamente alto a comparación al estudio realizado por Aguilar (2011) en donde se encuentra una variación de 1.70 a 20.10 Mgha⁻¹, sin embargo, el autor menciona que entre más años tenga el bosque mayor será el contenido de carbono.

Si se hace referencia a lo anterior mencionado un análisis temporal el bosque Los Arrayanes es considerado milenario, motivo por el cual ha ido acumulando una gran cantidad de residuos vegetales, especialmente de Arrayan el cual al tener un gran contenido de lignina acumulada el proceso de descomposición e incorporación será lento, recalando que la gradiente altitudinal es un impedimento para acelerar la descomposición.

En la tabla 6 se puede apreciar el contenido de biomasa por superficie del bosque.

Tabla 6*Biomasa de detritus.*

SUPERFICIE	BIOMASA (Mg)
UPM	2.83
Hectárea	56.79
Área total	1025.62

5.4 Construcción de modelos alométricas

Se generaron diez fórmulas alométricas para lo que se emplearon los valores de DAP altura total y comercial, así como también sus potencias y transformaciones logarítmicas todas ellas con coeficientes R^2 ajustados del 0.99.

Se aplicó el modelo potencial para cada uno de los individuos presentes en el bosque obteniendo coeficientes de determinación por arriba de 0.95, indicando una alta confiabilidad del modelo.

Las fórmulas alométricas se ordenaron de mayor confiabilidad a menor confiabilidad (ver Tabla 7). Las ecuaciones poseen mejores estadísticos para Arrayan que las ecuaciones generales propuestas por el inventario nacional.

Tabla 7*Fórmulas alométricas desarrolladas*

Código	Ecuación	RCME	PRESS	R²
EC1	$0.0037*LN(DC^4) + 9.37*DAP^2 - 197*DAP + 0.17$	0,71	0,51	0,99
EC2	$3.56DAP^3 + 4.66DAP^2 + 0.01DC - 0.01HT + 0.01$	0,75	0,56	0,99
EC3	$6.82DAP^2 - 0.03HC + 0.05$	0,76	0,58	0,99
EC4	$2164DAP - 19.68LNHT - 0.13LNAC + 43.19$	1,22	1,49	0,99
EC5	$-0.01LN HT^5 + 0.0023LN(DC^4) - 0.01HC^3 + 8.95DAP^2 + 0.57$	1,25	1,56	0,99
EC6	$0.0000034HT^5 - 0.02HC - 0.22$	1,33	1,77	0,99
EC7	$9.37*DAP^2 - 1.98*HT + 0.01DC + 0.14$	1,33	1,78	0,99
EC8	$8.38DAP^2 - 0.0011HC^2 + 0.01DC - 1.19HT + 0.08$	1,37	1,87	0,99
EC9	$-0.00008HT^4 + 0.00006DC^3 + 16.69DAP^2 - 0.01HC + 0.74$	1,37	1,89	0,99
EC10	$-0.00008HT^4 + 0.00006*DC^3 + 16.69DAP^2 - 0.01HC + 0.74$	1,40	1,96	0,99

Una vez comparados los valores de los coeficientes de R^2 entre los valores de biomasa total y biomasa simulada se escogió a la fórmula EC1: $0.0037*LN(DC)^4+9.37*DAP^2-197*DAP+0.17$, que es la que mayor ajuste a la recta presentó 1.

Los modelos analizados presentan uniformidad en términos de calidad de ajuste hacia las variables analizadas. Se puede utilizar los otros tipos de modelos por lo que presentan error porcentual bajo y un coeficiente de determinación similar

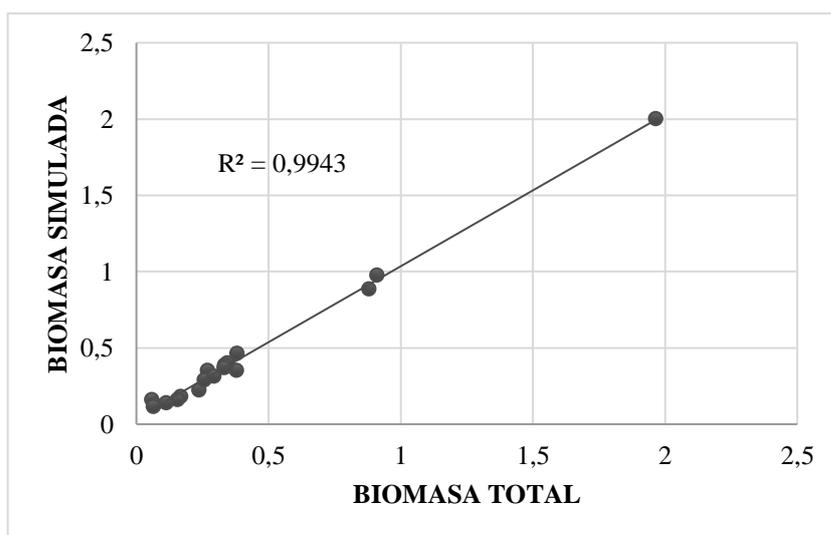


Figura 4. Regresión entre la biomasa total y la biomasa simulada..

En la Tabla 8 se observa los valores de biomasa total y biomasa simulada, así como también la diferencia entre las mismas, donde se aprecia que los valores de la biomasa simulada son generalmente un poco superiores a los de la biomasa total.

Tabla 8

Comparación de biomasa total vs biomasa simulada

Número de árbol	Biomasa Total Mgha ⁻¹	Biomasa simulada Mgha ⁻¹
1	0.271	0.329
2	0.059	0.136
3	0.881	0.816
4	0.335	0.359
5	0.380	0.329
6	0.069	0.082
7	0.238	0.194
8	0.170	0.151
9	0.258	0.268
10	0.911	0.919
11	0.065	0.076
12	1.966	1.971
13	0.295	0.275
14	0.156	0.141

Número de árbol	Biomasa Total Mgha ⁻¹	Biomasa simulada Mgha ⁻¹
15	0.339	0.332
16	0.115	0.109
17	0.346	0.369
18	0.340	0.370

5.5 Biomasa total del bosque

La biomasa aérea representa alrededor del 70 % de la biomasa total existente en el bosque, seguido de la biomasa de detritus que va alrededor del 16.3% y por último la biomasa por debajo del suelo con un valor casi similar al de detritus. El bosque de Los Arrayanes registra un valor promedio de 343.24 Mgha⁻¹. En la siguiente tabla se pueden identificar los valores de biomasa por estratos en las diferentes áreas.

Tabla 9

Biomasa por compartimento

Compartimento	UPM Mg	Hectárea Mg	Bosque Mg
Área	11.58	231.64	4183.50
Debajo del suelo	2.78	55.59	1004.04
Detritus	2.80	56.00	1011.36
Total	17.16	343.24	6198.90

5.6 Carbono total del bosque

Según Tipper y Jong, (1998) los bosques que poseen altas tasa de crecimiento y desarrollo son más efectivos en procesos fotosintéticos, es decir; que la captura de CO₂ y la fijación de carbono será más efectiva y se fijará en sus componentes (fuste, ramas, hojas, corteza, raíces). La especie *Myrcianthes hallii* presenta una tasa de crecimiento lento por lo que su capacidad fotosintética es baja. Los árboles existentes en el bosque se encuentran con gran tamaño por lo cual la cantidad de carbono fijado en cada individuo es alta considerando la edad de cada individuo.

La determinación de carbono se encuentra especificado por los siguientes estratos del bosque: carbono de la parte aérea, carbono en el suelo, carbono de la detritus y carbono por debajo del suelo.

Se determinó del componente aéreo un promedio por hectárea de 115.82 Mg de carbono con un valor total por el bosque de Los Arrayanes de 2091.75 Mg de carbono. Con la obtención de los datos necesarios para la aplicación de la fórmula establecida en la metodología, como es la densidad aparente con un valor de 0.73 gcm^{-3} , el porcentaje de detritus con un valor de 18.63% - 19% (ver anexo 22), se obtuvo un valor total de 252.93 Mgha^{-1} totales en el bosque.

Otras investigaciones que poseen condiciones edafoclimáticas similares como la de Aguilar (2011) presenta una cantidad de 109.24 Mgha^{-1} y la de González, Etchevers e Hidalgo, (2008) registran un valor de 133.8 Mgha^{-1} valores significativos bajos en comparación al estudio realizados por el autor; pero los investigadores mencionados anteriormente concuerdan que la mayor cantidad de carbono se encuentran en el suelo.

El aporte de carbono de la parte orgánica o también conocido como carbono orgánico es de 28.39 Mgha^{-1} . Teniendo en cuenta la ubicación del presente estudio cabe mencionar a Girardin *et al.* (2014), Spracklen y Righelato (2013), que concluyen que estas formaciones favorecen con una gran cantidad de carbono orgánico a los suelos. Además, estas formaciones de bosque se encuentran en un amplio gradiente altitudinal. Este factor es determinante de la fijación de carbono de la parte área.

Del contenido de carbono en el bosque de Los Arrayanes se evidencia que la mayor cantidad se encuentra en el suelo, seguido por el componente aéreo. Según la evaluación nacional forestal registra un valor de 123.10 Mgha^{-1} (MAE, 2014); valor considerablemente bajo en comparación al resultado obtenido en la presente investigación. Dicha diferencia se debe a que la evaluación nacional forestal no considera el carbono almacenado en el suelo en este tipo de ecosistema.

El contenido de carbono existente en el suelo representa alrededor del 60 % del carbono total almacenado en el bosque como se puede verificar en la tabla 10. Los suelos representan el mayor reservorio de carbono orgánico terrestre (FAO, 2017).

Tabla 10*Contenido de carbono total del bosque por compartimento.*

Compartimento	UPM (Mg)	Hectárea (Mg)	Bosque (Mg)
Aérea	5.79	115.82	2091.75
Debajo del suelo	1.39	27.79	502.02
Detritus	1.40	28	505.68
Suelo	12.65	252.93	4567.92
Total	21.23	424.55	7667.37

A continuación, se representa el contenido de carbono almacenado por compartimento del bosque.

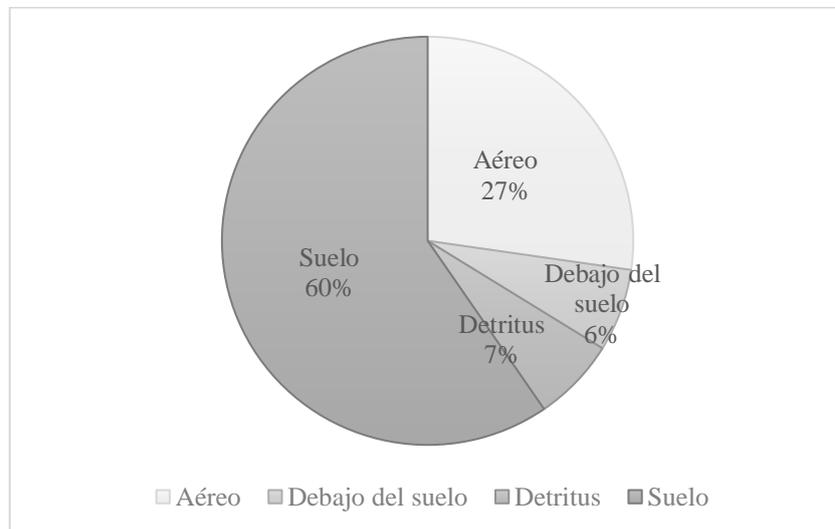


Figura 5. Distribución del carbono almacenado por compartimento.

CONCLUSIONES

- El modelo alométrico construido permite la estimación de la biomasa aérea de la especie *Myrcianthes Hallii* con alta efectividad para condiciones similares a las del sitio de estudio. Las variables regresoras seleccionadas describen el 99% de la variación de la biomasa aérea en este tipo de ecosistemas, siendo la de mayor peso el DAP y sus polinomios.
- Dadas las características de heterogeneidad del ecosistema, las ecuaciones resultantes requirieron de la inclusión de varias regresoras y sus transformaciones. Pese a estos cambios las ecuaciones resultantes permiten estimar la biomasa a partir de variables de fácil medición en campo.
- El contenido de carbono registrado consolida al bosque Los Arrayanes como un importante sumidero de carbono. En este se encuentran almacenados 7667.37 Mg de carbono a un promedio 424.55 Mg/ha, cantidad superior a ecosistemas de las mismas características edafoclimáticas.

RECOMENDACIONES

- En caso de que exista heterogeneidad en los datos se considera transformar los datos a logaritmos y potencias, ya que son las que presentaron mejor comportamiento en la construcción de modelos alométricos.
- Los modelos alométricos determinados se puede utilizar para la estimación de biomasa aérea de *Myrcianthes Hallii* en diferentes condiciones ambientales.
- El servicio ecosistémico que brinda el bosque “Los Arrayanes” en relación con el almacenamiento de carbono le otorga una importancia ambiental; lo que es necesario generar medidas de protección y conservación de esta extensión boscosa.
- Se sugiere continuar con estudios profundizando la relación entre el tipo y estructura de suelo con la vegetación existente en esta área.
- Continuar con investigaciones en el bosque; de sugerencia instalar parcelas permanentes registrando datos dasométricos.
- Realizar estudios que puedan determinar la edad de los árboles para tener una mayor precisión en la cuantificación de carbono almacenado.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, H. (2011). *BIOMASA SOBRE EL SUELO Y CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO EN CUATRO ESTADIOS DE SUCESIÓN DE BOSQUES EN LA PENÍNSULA DE OSA, COSTA RICA*. Cartago .
- Brown, S. (1997). *Bosques y cambio climático y la función de los bosques como sumideros de carbono*. Antalaya.
- Burbano , A., & Apugllón, S. (2015). *Inventario Dendrológico del ecosistema de bosque Jacaron, cantón Colta, Provincia de Chimborazo, Ecuador*. Lima.
- Carchi, G. A. (2013). *Proyecto Educaciòn Ambiental*. Tulcàn.
- Chave, J. (2006). *MEDICIÓN DE DENSIDAD DE MADERA EN ÁRBOLES TROPICALES MANUAL DE CAMPO*. Toulouse, France.
- Chimbo, I. J. (2016). *Evaluacion del Carbono en la Biomasa de dos especies forestales introducidas (Eucalyptus y Pinus) y una especie nativa (Hesperomeles Ferruginea) en el bosque Aguarongo*. Cuenca.
- CIIFEN. (2017). *Efecto Invernadero*. Obtenido de http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=99&Itemid=342&lang=es
- CMNUCC. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas* .
- CONDESAN. (2019). *Bosques Andinos*. Obtenido de <http://www.bosquesandinos.org/>
- 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
- Cruzado, L. A. (2010). *DETERMINACIÓN DE LAS RESERVAS DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA DE LOS BOSQUES ALTOANDINOS DE LA CONSECIÓN PARA CONSERVACIÓN ALTO HUAYABAMBA- SAN MARTÍN*. Tingo María.
- Ecuador, A. C. (2008). *CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR*.

- Ecuador, M. d. (2012). *Estrategia nacional del cambio climático del Ecuador*. Quito.
- FAO. (1994). *Directrices sobre la planificación del aprovechamiento de la tierra*. ROMA .
- FAO. (2002). *CAPTURA DE CARBONO EN LOS SUELOS PARA UN MEJOR MANEJO DE LA TIERRA*. ROMA.
- FAO. (2010). *SITUACIÓN ACTUAL DE LA FORESTACIÓN Y REFORESTACIÓN*.
Obtenido de <http://www.fao.org/3/ad102s/AD102S08.htm>
- FAO. (2014). *EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS FORESTALES 2015*. ROMA .
- FAO. (2015). *EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS FORESTALES MUNDIALES 2015; INFORME NACIONAL ECUADOR* . ROMA .
- FAO. (2017). *CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO un potencial oculto* . ROMA .
- FAO, & MAGBMA. (2018). *Estudio de las causas de la deforestación y degradación forestal en Guinea Ecuatorial 2004-2014*.
- FAO, O. d. (2011). *EL ESTADO DE LOS RECURSOS DE TIERRAS Y AGUAS DEL MUNDO PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA*. Roma: Mundi-Prensa, Madrid.
- Fonseca, W. (2017). *Revisión de métodos para el monitoreo de biomasa y carbono vegetal en ecosistemas forestales tropicales*. Editorial de la Universidad Nacional de Costa Rica (EUNA).
- Fonseca, W., Alice , F., & Rey, J. (2009). *Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica*.
- Fonseca, W., Ruiz, L., Rojas, M., & Alice, F. (2013). *Modelos alométricos para la estimación de biomasa y carbono en *Alnus acuminata**.
- Franquis, F. R., & Infante, A. M. (2003). *LOS BOSQUES Y SU IMPORTANCIA PARA EL SUMINISTRO DE SERVICIOS AMBIENTALES*.

- Galeana Pizaña, J. M., Nirani Corona , R., & Ordóñez Díaz, J. A. (2009). *Análisis dimensional de la cobertura vegetal–uso de suelo en la Cuenca del Río Magdalena*. Ciudad de Mexico .
- Gasparri, I., & Manghi, E. (2004). *ESTIMACIÓN DE VOLUMEN, BIOMASA Y CONTENIDO DE CARBONO DE LAS REGIONES FORESTALES ARGENTINAS*.
- Girardin, C., Farfan Rios, W., Garcia, K., Feeley, K. J., Jørgensen, P. M., & Araujo Murakami, A. (2014). *Spatial patterns of above-ground structure, biomass and composition in a network of six Andean elevation transects*.
- González, L., Etchevers, J., & Hidalgo, C. (2008). *CARBONO EN SUELOS DE LADERA: FACTORES QUE DEBEN CONSIDERARSE PARA DETERMINAR SU CAMBIO EN EL TIEMPO*. Ciudad de Mexico .
- Harrould, E., & Savitz, K. J. (2009). *ACIDIFICACIÓN: ¿CÓMO AFECTA EL CO2 A LOS OCÉANOS?* Madrid .
- HELVETAS. (2019). *Los Bosques Andinos y el Cambio Climático*. Obtenido de <http://www.bosquesandinos.org/los-bosques-andinos/>
- Ibárcena Escudero, M., & Scheelje Bravo, J. M. (2003). *EL CAMBIO CLIMÁTICO PRINCIPALES CAUSANTES, CONSECUENCIAS Y COMPROMISOS DE LOS PAÍSES INVOLUCRADOS*. Roma.
- INEN. (2011). *SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Y CALIFICACIÓN DE MADERA ASERRADA PROVENIENTE DE BOSQUES HÚMEDOS TROPICALES*. QUITO-ECUADOR .
- IPCC, I. P. (1995). *The Supplementary Report to the IPCC*. Cambridge.
- Jandl, R. (2001). *Medición de tendencias en el tiempo del almacenamiento de carbono del suelo. Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*. Valdivia.
- Lerma, M., & Orjuela, E. (2014). *Modelos Alométricos para la estimación de la biomasa aérea total en el páramo de Anaime*. Tolima.

- Lozano, W. A. (2015). *ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN BIOMASA AÈREADE UNA PLANTACION DE CEDRO ROSADO, (Acrocarpus flixinifolius), EN LA PARROQUIA RÌO BLANCO, CANTÒN MORONA*. Loja.
- Macias, M. (2004). *EL SUMIDERO DE CARBONO DE LOS SUELOS DE GALICIA*. Santiago de Chile .
- MAE. (2012). *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador* . QUITO .
- MAE. (2013). *Factor de emisión de CO2 del sistema nacional Interconectado del Ecuador*. Quito: Ministerio del Ambiente .
- MAE. (2013). *SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE ECOSISTEMAS DEL ECUADOR CONTINENTAL*. QUITO.
- MAE. (2014). *EVALUACIÓN NACIONAL FORESTAL*. QUITO.
- MAE. (2015). *Estadísticas del patrimonio natural*. Quito.
- MONTUFAR, P. D. (2015). *PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL CANTON MONTUFAR*. San Gabriel.
- Norverto, C. (2010). *LA FIJACIÓN DE CO2 EN PLANTACIONES FORESTALES Y EN PRODUCTOS DE MADERA EN ARGENTINA*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/XII/0043-B2.htm>
- OCEANA. (2014). *Gases de efecto invernadero*. Obtenido de <https://eu.oceana.org/es/node/46897>
- Orellana, G., Sandoval, M., Linares, G., & Tmariz, N. G. (2012). *DESCRIPCIÓN DE LA DINÁMICA DE CARBONO EN SUELOS FORESTALES MEDIANTE UN MODELO DE RESERVORIOS*. Puebla , Mèxico.
- Orozco, L., & Brumer, C. (2002). *Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central*.
- Oyos, A. (2019). *CONSTRUCCIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMACIÓN DE CONTENIDO DE CARBONO EN PLANTACIONES DE NOGAL (Junglas*

neotropica) CON Y SIN ASOCIO DE CAFÉ (*Coffea sp.*), CANTÓN PIMAMPIRO.
Ibarra - Ecuador .

Palacios, W. (2016). *Árboles del Ecuador: Familias y Géneros*.

Palacios, W., & Pereira, G. (1998). *Plan de manejo sustentable del bosque de Arrayanes* .
Quito - Ecuador .

Pérez, E. (2009). *Fotosíntesis: Aspectos Básicos*. Madrid: Reduca (Biología). Serie
Fisiología Vegetal.

Pérez, E., & Bonilla, M. (2015). *La retención de carbono en plantaciones forestales. Estudio
de caso: Empresa Forestal Integral “Cienfuegos”*.

Proaño, F., & Ortiz, F. (2015). *PLAN DE ACCIÓN REDD+ ECUADOR*. Quito.

Quintanar. (2002). *Características, propiedades y procesos de transformación de la madera
de los encinos de Mexico*. Ciudad de Mexico.

QUITO, U. S. (2014). *Cambio Climatico*. Obtenido de
https://www.usfq.edu.ec/programas_academicos/colegios/cociba/quitoambiente/temas_ambientales/cambio_climatico/Paginas/default.aspx

RONDEUX, J. (2010). *Medicion de árboles y masas forestales*. España: Mundiprensa.

Ruiz, E. P., & Vichot, M. B. (2015). *La retención de carbono en plantaciones forestales.
Estudio de caso Empresa Forestal Cienfuegos*. Cuba.

Ruiz, W. F. (2013). *Modelos alométricos para la estimacion de biomasa y carbono en *Alnus
Acuminata**. México.

Schlegel, B. (2001). *ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA Y CARBONO EN BOSQUES DEL
TIPO FORESTAL SIEMPREVERDE* . Valdivia .

Segura, D., Jiménez, D., Chinchero, M., Iglesias, J., & Sola, A. (2015). *EVALUACIÓN
NACIONAL FORESTAL DEL ECUADOR, UN PROCESO EN CONTRUCCION
HACIA EL MONITOREO DE LOS BOSQUES Y LA BIODIVERSIDAD*. Quito-
Ecuador .

- Segura, M., & Andrade, H. (2008). *¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes?* Turrialba- Costa Rica.
- Segura, M., & Hernan, A. C. (2008). *Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes?* *Agroforestería en las Américas*.
- SENPLADES. (2017). *Plan Nacional del Buen Vivir 2017 - 2021*. QUITO-ECUADOR.
- Sierra, C., del Valle, J., & Orrego, S. (2001). *ECUACIONES DE BIOMASA DE RAÍCES Y SUS TASAS DE ACUMULACIÓN EN BOSQUES SUCESIONALES Y MADUROS TROPICALES DE COLOMBIA*. Medellín .
- Spracklen, D., & Righelato, R. (2013). *Tropical montane forests are a larger than expected global carbon store*.
- Tamarit, J., & Fuentes, M. (2003). *Parámetros de humedad de 63 maderas latifoliadas mexicanas en función de su densidad básica*. Ciudad de Mexico .
- Tipper, R., & Jong, B. (1998). *Quantification and regulation of carbon offsets from forestry: comparison of alternative methodologies, with special reference to Chiapas, Mexico*. Ciudad de Mexico .
- Useros Fernández, J. L. (2012). *EL CAMBIO CLIMÁTICO: SUS CAUSAS Y EFECTOS MEDIOAMBIENTALES*. Valladolid.
- Valencia , S., & Vargas , J. (1997). *Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera*.
- Zamora , W., & Ramírez, L. (2019). *Evaluación de la biomasa aérea y carbono fijo en el bosque nativo de la comunidad Rancho Chico, Sector Cochapamba-Imbabura*. Ibarra.

ANEXOS

 AGROCALIDAD <small>AGENCIA ECUATORIANA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOO SANITARIO</small>	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS <small>Vía Interceánica Km. 145 y Elroy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito</small> <small>Teléfono: 02-2372-844/2372-845</small>	PGT/SFA/09-FO01 Rev. 3
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 1 de 1

Informe N°: UN-SFA-618-0006
Fecha emisión Informe: 18/01/2018

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: Juan Ruiz
Teléfono: 0989840707
Dirección: Bosque Los Arrayanes, Sector Monte Verde
Correo Electrónico: aruizguerron@yahoo.com
Provincia: Carchi **Cantón:** Montufar
N° Orden de Trabajo: 04-2018-01
N° Factura/Documento: 9622

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco
Cultivo: ----	
Provincia: Carchi	X: ----
Cantón: Montufar	Coordenadas Y: ----
Parroquia: Piotor	Altitud: ----
Muestreado por: Juan Ruiz	
Fecha de muestreo: 09-01-2018	Fecha de inicio de análisis: 11-01-2018
Fecha de recepción de la muestra: 11-01-2018	Fecha de finalización de análisis: 18-01-2018

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-18-0016	M1	Materia Orgánica	Volumétrico REG/SFA/09	%	18,00
SFA-18-0017	M2	Materia Orgánica	Volumétrico REG/SFA/09	%	18,01

Analizado por: Daniel Bedoya, Luis Cacuango, Lucía Quishpe

Observaciones:

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN SIERRA

PARÁMETRO	RANGO
BASO	< 1,5
MEDIO	1,5 - 2,5
ALTO	> 2,5


Q. A. Luis Cacuango
 Responsable de Laboratorio
 Suelos, Foliar y Aguas



AGROCALIDAD
AGENCIA ECUATORIANA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOO SANITARIO DE LA CIUDAD DE AZUAYO
LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS
TUMBACO - ECUADOR

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

Anexo 1. Resultado de análisis de suelo



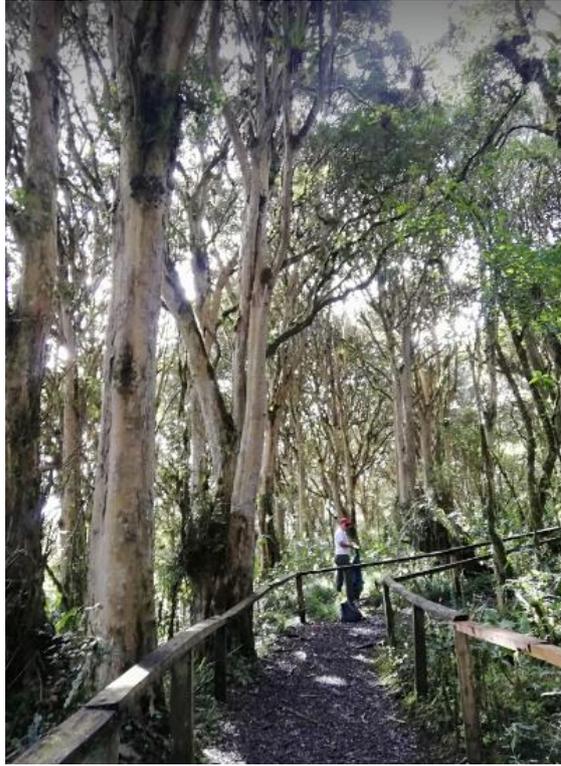
Anexo 2. Senderos del bosque protector los Arrayanes



Anexo 3. Toma de Datos



Anexo 4. Medición de DAP



Anexo 5. Toma de altura y DAP



Anexo 6. Búsqueda de árboles dentro del bosque