

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**

“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”.

AUTOR

Freddy Ricardo España Benavides

DIRECTOR

Ing. Walter Armando Palacios Cuenca

Ibarra, 20 de junio del 2016

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

“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”.

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. Walter Palacios

Director de trabajo de titulación

.....

Ing. María Vizcaíno

Tribunal de titulación

.....

Ing. Manolo Carrión, Mgs.

Tribunal de titulación

.....

Ing. Hugo Vallejos, Mgs.

Tribunal de titulación

.....

Ibarra - Ecuador

2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
Cédula de identidad:	040181687-1	
Apellidos y nombres:	España Benavides Freddy Ricardo	
Dirección:	San Isidro, calle 10 de Agosto y Sucre.	
Email:	freddyricardoeb@gmail.com	
Teléfono fijo:	062 974 497	Teléfono móvil: 0967916675

DATOS DE LA OBRA	
Título:	“CONSTRUCCIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE BIOMASA AÉREA EN ALISO DE NEPAL (<i>Alnus nepalensis</i> D. Don) EN LA ZONA DE INTAG, ANDES DEL NORTE DEL ECUADOR”.
Autor:	España Benavides Freddy Ricardo
Fecha:	20 de junio del 2016
Solo para trabajos de titulación	
Programa:	Pregrado
Título por el que opta:	Ingeniero Forestal
Director:	Ing. Walter Palacios

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, **España Benavides Freddy Ricardo**, con cédula de ciudadanía Nro. 040181687-1; en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de titulación descrito anteriormente, hago la entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior, Artículo 144.

3. 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 asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 20 de junio del 2016.

EL AUTOR:



.....
Ing. Chávez Betty

JEFE DE BIBLIOTECA

ACEPTACIÓN:



.....
España Benavides Freddy Ricardo

C.I.: 040181687-1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

Yo, **España Benavides Freddy Ricardo**, con cédula de identidad Nro. **040181687-1**; manifiesto la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de titulación denominada **“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”** que ha sido desarrolla para optar por el título de Ingeniero Forestal en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

.....
España Benavides Freddy Ricardo

C.I: 040181687-1

Ibarra, a los 20 días del mes de junio del 2016

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA -UTN

Fecha: 20 de junio del 2016

España Benavides Freddy Ricardo: “Determinar la biomasa aérea capturada por el aliso de Nepal (*Alnus nepalensis* D. Don) mediante modelos alométricos en el sector La Delicia de la parroquia Plaza Gutiérrez, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura”/TRABAJO DE GRADO. Ingeniero Forestal.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal Ibarra, 20 de junio del 2016. 66 páginas.

DIRECTOR: Ing. Walter Palacios

El objetivo principal de la presente investigación fue: Determinar la biomasa aérea capturada por el aliso de Nepal (*Alnus nepalensis* D. Don) mediante modelos alométricos en el sector La Delicia de la parroquia Plaza Gutiérrez, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura.

Fecha: 20 de junio del 2016

.....
Ing. Walter Armando Palacios Cuenca

Director de Trabajo de Grado

.....
España Benavides Freddy Ricardo

Autor

DEDICATORIA

A mi madre,

La señora **Jimena Narcisa España Benavides**, por la confianza y el apoyo brindado, que sin duda alguna en el trayecto de mí vida me ha demostrado su amor; corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos. Usted la mezcla de sencillez, hermosura, valentía y nobleza, cuyo trabajo hizo posible este sueño. Mujer de inmensa dedicación que ha cargado sola con el esfuerzo de formar un hombre, un profesional, un hijo.

Gracias por su esfuerzo y amor.

A mi abuelita,

La señora **María Emperatriz Benavides Guerrero**, por tantos consejos, por tanta dedicación a la formación de un hombre que se considera como uno más de sus hijos.

Gracias mamita.

A mi hijo Martín y mi sobrino Gabriel

A ustedes por ser el tesoro más preciado que poseo.

A mis hermanos

Porque fue maravilloso crecer con alguien como ustedes **Santiago y Leonel**, alguien en quien apoyarse, alguien con quien contar.

AGRADECIMIENTO

A todos quienes forman parte de la carrera de **Ingeniería Forestal y a la Universidad Técnica del Norte** por darme la oportunidad de cumplir mi sueño, y brindarme la herramienta para una vida llena de éxitos.

Al Ing. Walter Palacios, por todo el conocimiento que me brindó durante todo mi periodo estudiantil, por la atinada dirección de este trabajo de tesis, por la paciencia, los consejos, comentarios y sugerencias constructivas que me ayudaron a adquirir nuevos conocimientos y tener una diferente perspectiva de la investigación.

A los miembros del comité asesor Msc. Hugo Vallejos y Msc. Manolo Carrión, por sus sugerencias y aportes en el desarrollo de esta investigación y de manera especial a la **Ing. María Isabel Vizcaíno** por todo el conocimiento compartido en las aulas y fuera de ellas, por su valioso aporte en esta investigación y por su amistad desinteresada que la convirtió en más que una maestra.

A mis familiares, en especial a mis tías **Dorita España y Mabelita España** por el apoyo incondicional, por el cariño y el deseo de formarme como profesional y como persona.

A mis amigos, por formar parte de este caminar, por estar siempre ahí, por ser la familia que la vida me permitió escoger en especial a **Jefferson C., David Q., Santiago Y., Franklin M., Kenny R., Gabriela P., Anita L., ...**

A Katty, por su apoyo incondicional, por brindarme su amor y dejarme amarla.

El autor

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Págs.
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
GLOSARIO	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xvi
CAPITULO I.....	1
1. MARCO CONTEXTUAL.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1. General	2
1.2.2. Específicos.....	2
1.3. HIPÓTESIS	2
CAPITULO II.....	3
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. FUNDAMENTACIÓN LEGAL	3
2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	3
2.2.1. Efecto invernadero	3
2.2.1.1. <i>Gases de efecto invernadero</i>	4

2.2.2.	Captura de carbono.....	4
2.2.2.1.	<i>Carbono en biomasa aérea</i>	5
2.2.3.	Biomasa	6
2.2.4.	Determinación de biomasa	6
a)	<i>Método tradicional</i>	7
b)	<i>Método destructivo</i>	7
c)	<i>Sensores remotos</i>	8
2.2.5.	Modelos alométricos para masas forestales	8
2.2.6.	Selección del modelo alométrico de mejor ajuste	9
2.2.7.	Modelos alométricos de biomasa aérea para Aliso.	9
2.2.8.	Variables más empleadas en la elaboración de modelos alométricos de biomasa aérea	10
2.2.9.	Plantaciones forestales	12
2.2.10.	Descripción de la especie	13
2.2.10.1.	<i>Descripción botánica</i>	13
2.2.10.2.	<i>Ecología</i>	13
CAPITULO III		15
3.	MATERIALES Y MEDOLOGÍA.....	15
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL SITIO	15
a)	Fase de campo	15

b)	Fase de laboratorio	16
3.2.	MATERIALES Y EQUIPOS	16
a)	Laboratorio	16
b)	Equipos e instrumentos	16
c)	Insumos	17
d)	Material vegetativo.....	17
3.3.	METODOLOGÍA	17
3.3.1.	Tamaño de la muestra.....	17
3.3.2.	Objetivo 1: Determinar los parámetros de forma de los árboles en pie	18
a)	<i>Medición de diámetro y diámetro basal.....</i>	18
b)	<i>Estimación del ancho de la copa del árbol</i>	18
3.3.3.	Objetivo 2: Calcular la biomasa de los árboles muestreados	18
a)	<i>Apeo de individuos seleccionados y medición de longitud</i>	18
b)	<i>Peso de los componentes y toma de muestras para análisis en laboratorio.</i>	19
3.3.4.	Objetivo 3: Seleccionar el mejor modelo alométrico	20
a)	<i>Organización de los datos y correlación entre variables</i>	20
b)	<i>Selección de los mejores modelos</i>	20
c)	<i>Comparación de observaciones reales versus las estimaciones de los mejores modelos</i>	
	21	
CAPITULO IV	22

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1.	Estadística de los parámetros de forma de los árboles.....	22
4.2.	Cálculo de biomasa aérea.....	23
4.3.	Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea.....	24
CAPITULO V.....		29
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	29
5.1.	CONCLUSIONES.....	29
5.2.	RECOMENDACIONES.....	29
CAPITULO VI.....		31
BIBLIOGRAFÍA.....		31
CAPITULO VII.....		36
6.	ANEXOS.....	36
6.1.	CUADROS.....	36
6.2.	ILUSTRACIONES.....	40
6.3.	FOTOGRAFÍAS.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Mapa base del sitio de estudio.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2. Exploración gráfica de variables independientes versus la variable dependiente. .</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3. Exploración gráfica de los valores predichos versus los valores observados para el modelo 3.</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4. Exploración gráfica de los valores predichos versus los valores observados para el modelo 5.</i>	<i>27</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Variables más empleadas en la generación de modelos alométricos de biomasa aérea.</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 2. Estadísticas descriptivas de los parámetros de forma de los árboles.</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 3. Incremento medio anual de las variables independientes.</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 4. Estadística descriptiva de la biomasa en estado verde, seco y biomasa total.</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 5. Análisis de correlación entre las variables independiente (DAP, Db, Ht y Ac) con respecto a la variable dependiente biomasa total.</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 6. Modelos alométricos para predecir la biomasa aérea y estadígrafos obtenidos para aliso de Nepal.</i>	<i>26</i>

GLOSARIO

Ancho de copa: Término utilizado para referirse al área que ocupa la copa de un árbol sobre el suelo.

Criterio de Información Akaike: Estadígrafo utilizado para la selección de los modelos alométricos.

Biomasa del fuste: Término utilizado para referirse a la biomasa capturada en el fuste de un árbol.

Biomasa de hojas: Término utilizado para referirse a la biomasa capturada en las hojas de un árbol.

Biomasa de ramas: Término utilizado para referirse a la biomasa capturada en las ramas de un árbol.

Biomasa Total: se refiere a la biomasa aérea capturada en todo el árbol, resultado de la suma de componentes de cada árbol.

Covarianza: La covarianza es un valor que indica el grado de variación conjunta de dos variables aleatorias.

Clorofluorocarbono: Gas de efecto invernadero con altas concentraciones en la atmosfera, es utilizado en aerosoles en sistemas de refrigeración.

Metano: Gas de efecto invernadero con altas concentraciones en la atmosfera, es producido por la descomposición de la materia orgánica.

Dióxido de Carbono: Gas de efecto invernadero con altas concentraciones en la atmosfera, es producido principalmente por la quema de combustible fósil.

Diámetro a la Altura del Pecho: Medida utilizada para determinar el diámetro de un árbol a los 130 cm de la base del fuste, muy común en inventarios forestales y sirve para tener información con respecto al crecimiento del árbol.

Diámetro basal: Medida utilizada para determinar el diámetro de un árbol a los 30 cm de la base del fuste, muy común en inventarios forestales y sirve para tener información con respecto al área basal del árbol.

Error Cuadrático Medio de Predicción: Estadígrafo utilizado para la selección de los modelos alométricos.

Gases de Efecto Invernadero: Gases que por sus altas concentraciones en la atmósfera contribuyen al efecto invernadero en el planeta.

Hidrofluorocarbono: Gas de efecto invernadero con altas concentraciones en la atmósfera, utilizado como refrigerante.

Altura total: Se refiere a la medida que tiene el fuste de un árbol desde la base hasta la punta.

Materia seca: La materia seca o extracto seco es la parte que resta de un material tras extraer toda el agua posible a través de un calentamiento hecho en condiciones de laboratorio.

Óxido Nitroso: Gas de efecto invernadero con altas concentraciones en la atmósfera.

Ozono: Gas de efecto invernadero muy oxidante de color azulado, que se forma en la ozonósfera y que protege la Tierra de la acción de los rayos ultravioleta del Sol; es un estado alotrópico del oxígeno producido por la electricidad.

Peso Fresco: Es el peso de un individuo en estado verde sin extraer contenido de agua.

Perfluorocarbono: Gas de efecto invernadero con altas concentraciones en la atmósfera, usados en refrigeración y limpieza de extintores.

Coefficiente de Determinación: Estadígrafo utilizado para la selección de los modelos alométricos.

Coefficiente de determinación ajustado: Estadígrafo utilizado para la selección de los modelos alométricos.

Varianza: Se refiere al cuadrado de la desviación de las variables considerada frente a su media.

Hexafluoro de Azufre: Gas de efecto invernadero con altas concentraciones en la atmósfera.

LISTA DE ABREVIATURAS

Ac = Ancho de copa

AIC = Criterio de Información Akaike

APP = Árboles, Arbustos y Palmas

B = Biomasa

B_F = Biomasa del Fuste

B_{F1} = Biomasa de Flores y frutos

B_H = Biomasa de Hojas

B_R = Biomasa de Ramas

B_T = Biomasa Total

C_{xy} = Covarianza

CFC = Clorofluorocarbono

CH₄ = Metano

CIRAD = Centre of Cooperation International in Recherche

CIFOR = Centro para la Investigación Forestal Internacional

CO₂ = Dióxido de Carbono

CMNUCC = Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático

DAP = Diámetro a la Altura del Pecho

Db = Diámetro basal

ECMP = Error Cuadrático Medio de Predicción

FAO = Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación

GEI = Gases de Efecto Invernadero

HFC = Hidrofluorocarbono

Ht = Altura total

IPCC = Panel Intergubernamental para el Cambio Climático

MAE = Ministerio del Ambiente de Ecuador

MDL = Mecanismo de Desarrollo Limpio

MS = Materia Seca

N₂O = Óxido Nitroso

O₃ = Ozono

PF = Peso Fresco

PFC = Perfluorocarbono

PRESS = Suma de Cuadrado de los Residuos de los Predichos

R² = Coeficiente de Determinación

R² ajustado = Coeficiente de Determinación Ajustado

REDD = Reducción de Emisiones por Degradación y Deforestación

SCR = Suma del Cuadrado de Residuos

S² = Varianza

SF₆ = Hexafluoro de Azufre

TITULO: “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”.

Autor: España Benavides Freddy Ricardo

Director de Trabajo de Titulación: Ing. Walter Palacios

Año: 2016

RESUMEN

Una de las medidas más importantes para mitigar el cambio climático son las plantaciones forestales por ser uno de los mecanismos aceptados por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) y porque los árboles cuando realizan la fotosíntesis capturan carbono. Para determinar la captura de Carbono (C) en las plantaciones forestales lo primordial es determinar la biomasa aérea.

El presente trabajo de investigación se realizó con el fin de generar modelos alométricos para la biomasa aérea del aliso de Nepal (*Alnus nepalensis* D. Don) a través del método destructivo de árboles. El estudio se condujo, en el sector La Delicia, parroquia Plaza Gutiérrez, cantón Cotacachi ubicado al noroccidente del Ecuador. Un total de nueve árboles fueron elegidos para el análisis.

Se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP), el diámetro basal (Db), el ancho de copa (Ac) y altura total (Ht), variables independientes del modelo. Se apeó y seccionó al árbol en tres componentes: fuste, ramas y hojas. De cada componente se tomó 200 g para la determinación de materia seca y cálculo de la biomasa total, variable dependiente del modelo.

Los modelos alométricos ajustados para predecir la biomasa aérea del aliso de Nepal fueron $B = -163.3644.42 \ln(DAP \times DB)$ y $B = 37.157 + 1.75 \times 10^{-4}(DAP \times DB \times HT)$ los cuales mostraron altos coeficientes de determinación mayores a 0.93 y 0.90 respectivamente. Los modelos alométricos ajustados para esta especie podrán ser utilizados en condiciones similares a las del presente estudio para estimar la biomasa aérea de manera confiable.

Palabras clave: Plantaciones forestales, método directo, modelos alométricos, aliso de Nepal, biomasa aérea, carbono, coeficiente de determinación, variable dependiente, variable independiente.

TITLE: "CONSTRUCTION OF ALLOMETRIC MODELS FOR DETERMINING THE AERIAL BIOMASS IN ALISO OF NEPAL (*Alnus nepalensis* D. Don) IN INTAG, ANDES NORTH OF ECUADOR".

Author: España Benavides Freddy Ricardo

Director of degree work: Ing. Walter Palacios

Year: 2016

ABSTRACT

One of the most important actions to mitigate climate change are forest plantations as one of the mechanisms accepted by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and because the trees when they breathe and photosynthesize carbon capture. To determine the capture of carbon (C) in the primordial forest plantations is to determine the biomass.

This research was conducted in order to generate allometric models for aboveground biomass Nepal alder (*Alnus nepalensis* D. Don) through the destructive method of trees. The study was conducted in the La Delicia, Plaza Gutierrez, Cotacachi located in northwest Ecuador. A total of nine trees were chosen for analysis.

Diameter at breast height (DBH), the basal diameter (Db), the crown width (Ac) and total height (Ht), independent variables of the model was measured. He climbed the tree and sectioned into three components: stem, branches and leaves. 200 g of each component for the determination of dry matter and calculation of total biomass, dependent variable model was taken.

Allometric models adjusted to predict aboveground biomass were Nepal alder $B = -163.36 + 44.42 \ln(DAP \times DB)$ and $B = 37.157 + 1.75 \times 10^{-4}(DAP \times DB \times HT)$ which they showed high coefficients greater determination to 0.93 and 0.90 respectively. The allometric models adjusted for this species may be similar to those used in this study to estimate biomass reliably conditions.

Keywords: Forest plantations, direct method, allometric models, Nepal alder, biomass, carbon, coefficient of determination, dependent variable, independent variable.

CAPITULO I

1. MARCO CONTEXTUAL

1.1. INTRODUCCIÓN

Existe preocupación mundial por el aumento acelerado de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. Entre estos gases, el dióxido de carbono (CO₂), es uno de los seis gases más preocupantes por sus altas concentraciones; por esta razón, se han generado diversos mecanismos para mitigar el efecto de este gas, entre ellos el establecimiento de plantaciones forestales, proyectos de captura de carbono entre otros.

En la zona de Intag se introdujo el aliso de Nepal en 1995, especie que ha despertado mucho interés tanto en comuneros como en organizaciones locales, nacionales e intergubernamentales por la buena adaptación al sitio. A la fecha, en la zona se han realizado investigaciones sobre la interacción de esta especie con pastos. Sin embargo, no existe información sobre biomasa aérea y carbono almacenados.

El estudio elaboró ecuaciones alométricas que evalúan la biomasa aérea secuestrada por el aliso de Nepal, con dimensiones simples de medir como el diámetro, la edad, la altura y el diámetro de copa.

La información obtenida en esta investigación contribuirá a futuro para elaborar programas que permitan mitigar el cambio climático y beneficiar a los propietarios de dichas plantaciones forestales, proponiendo o desarrollando proyectos relacionados con captura de carbono, ofreciendo opciones distintas a la extracción de madera y aportando a la gestión sostenible de los bosques.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. General

Determinar la biomasa aérea capturada por el aliso de Nepal (*Alnus nepalensis* D. Don) mediante modelos alométricos en el sector La Delicia de la parroquia Plaza Gutiérrez, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura.

1.2.2. Específicos

- Determinar los parámetros de forma de los árboles en pie.
- Calcular la biomasa de los árboles muestreados.
- Seleccionar el mejor modelo alométrico.

1.3. HIPÓTESIS

- **Ho:** Ninguno de los modelos permite estimar la producción de biomasa aérea en plantaciones del aliso de Nepal.
- **Ha:** Por lo menos uno de los modelos permitirá estimar la producción de biomasa aérea en plantaciones del aliso de Nepal.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. FUNDAMENTACIÓN LEGAL

La presente investigación se enmarca en la línea de investigación de la carrera de Ingeniería Forestal de la UTN: Producción y protección sustentable de los recursos forestales. Esta línea de investigación a su vez se sustenta en el objetivo 7 del Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017 (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013, pag 221), en la política y lineamiento estratégico 7.10 del mismo objetivo:

- **Objetivo 7:** Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global.
- **Política y lineamiento estratégico 7.10:** Implementar medidas de mitigación y adaptación al cambio climático para reducir la vulnerabilidad económica y ambiental con énfasis en grupos de atención prioritaria, **literal c.** Minimizar el impacto del cambio climático en el patrimonio natural, el funcionamiento de los ciclos vitales y la oferta de bienes y servicios que proporcionan los diversos ecosistemas (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013).

2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1. Efecto invernadero

El Sol irradia energía en longitudes de ondas casi visibles por el espectro humano, de las cuales aproximadamente una tercera parte de la energía que alcanza la zona superior de la atmosfera se refleja de nuevo al espacio y las dos terceras partes restante sirven para calentar el clima de la tierra; pero la atmosfera y las nubes cautivan gran parte de esta energía irradiada por el suelo y el océano y la vuelve a

irradiar a la tierra, a esto se le conoce como efecto invernadero (Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, 2007).

Las actividades humanas tales como: quema de combustible fósil y la tala indiscriminada de bosques han intensificado el efecto invernadero natural dando como resultado el calentamiento global (IPCC, 2007).

2.2.1.1. Gases de efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI) están presentes en la atmósfera terrestre y dan lugar al efecto invernadero. Su concentración atmosférica natural es baja pero influyen en la temperatura del aire próximo al suelo, permitiendo la vida, los gases de efecto invernadero más importantes en la atmósfera son: vapor de agua, dióxido de Carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) clorofluorocarbonos (CFC) y ozono (O₃) (Morán & Morán, 1994; IPCC 2007).

Las concentraciones de los principales gases antropogénicos de efecto invernadero alcanzaron los niveles más altos jamás registrados durante la década de 1990 debido a la combustión de combustible fósil, agricultura y cambio en el uso de tierras (IPCC, 2007), el principal de estos gases es el CO₂ el cual se ha incrementado desde 280 ppm que duró el periodo industrial hasta cerca de 360 ppm que hay en la actualidad en la atmósfera (Acosta y otros., 2001) modificando el balance de los flujos de radiación solar del planeta, aumentando la temperatura de la Tierra y modificando los regímenes de lluvia y demás variables climáticas (IPCC, 2001 citado por Zamora, 2011).

2.2.2. Captura de carbono

El almacenamiento de carbono se realiza mediante el intercambio de carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis, almacenándolo en la biomasa y en el suelo. El carbono cumple un papel primordial en los procesos fisicoquímicos y biológicos del planeta a través del ciclo del carbono. Existe un sistema de cuatro reservorios (vegetación aérea y radical, materia en descomposición, suelo y productos

forestales) con periodos de vida muy diferentes pero estrechamente relacionados (Taiz & Zeiger, 1998 citado por Ali, De Petre, & Karlin, s.f).

Las plantaciones forestales sin importar su objetivo contribuyen a contrarrestar el efecto invernadero, debido a que mientras crecen capturan CO₂ (Ramirez, 2012; Gutiérrez & Lopina, 2001) fijando el carbono en los tejidos vegetales y en el suelo (Gutiérrez & Lopina, 2001).

Los GEI podrían reducirse mediante la disminución de las emisiones de CO₂ e incrementando los sumideros terrestres. La fijación y almacenamiento de carbono en los ecosistemas forestales y agroforestales son mecanismos aprobados por el protocolo de Kioto (Vine y otros, 1997 citado por Andrade & Segura, 2008).

Para realizar proyectos de reducción de carbono en la atmosfera es necesario desarrollar metodologías que permitan por una parte medir el carbono de manera confiable y de bajo costo; y por otra parte predecir el comportamiento del carbono en cualquier momento durante el crecimiento de la plantación (Gutierrez & Lopina, 2001).

En proyectos forestales y agroforestales de fijación de carbono es fundamental el desarrollo de modelos alométricos locales para estimar el carbono almacenado en los árboles, arbustos y palmas (Somarriba & Beer, 1987; Andrade e Ibrahim, 2003; IPCC, 2003; Perez & Kanninen, 2003; Segura & Kanninen, 2005; Segura y otros., 2006 citados por Andrade & Segura, 2008; Ortíz, 1993).

2.2.2.1. Carbono en biomasa aérea

El almacenamiento de carbono es un servicio ambiental que nos ofrece el árbol, permitiendo e incentivando al productor a incorporar árboles en sistemas agroforestales beneficiándose con bonos verdes, mejora en pastizales y bosques y beneficios hídricos (IPCC, 2000 citado por en Ali y otros, s.f).

Es necesario contar con información local y por especie de flujo de carbono en diferentes ecosistemas forestales para proyectos de reducción de CO₂ atmosférico

(Brown & Lugo, 1984; Gayoso & Guerra, 2002 citado por Ali, y *otros.* s.f) varios estudios destacan la variabilidad del contenido de carbono según la especie y tejidos del árbol (Soares & Oliveira, 2002; IPCC, 1996 citado por Ali, y *otros.* s.f) ya que es un dato biológico que refleja y determina un porcentaje significativo de la cantidad de carbono almacenado (Gayoso & Guerra 2002 citado por Ali y *otros.* s.f).

2.2.3. Biomasa

Las plantas en estado verde fotosintetizan para obtener los nutrientes existentes en el medio, utilizando la energía solar. El resultado de la fotosíntesis es la producción primaria, la cual es incorporada a los tejidos. Este proceso se manifiesta a través del crecimiento y se expresa como peso seco o biomasa (Satoo, 1982; Mac Donald, 2005 citado por Alvarez, 2008; IPCC, 2001).

La biomasa forestal se define como el peso de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema por encima y por debajo del suelo. (Schlegel y *otros.*, citado por Alvarez, 2008) y se cuantifica en toneladas por hectáreas. Se determina a través de clima, suelo, especie forestal y manejo (Gayoso, Guerra, & Alarcon, 2002), en una zona o volumen determinado incluyendo restos de plantas que han muerto recientemente (IPCC, 2001).

La biomasa es un importante elemento de estudio debido a que tiene usos industriales, energéticos y ambientales. A partir de la biomasa se puede calcular el contenido de carbono (Álvarez, 2008).

2.2.4. Determinación de biomasa

El contenido de biomasa puede estimarse mediante métodos directos e indirectos. En el primer caso se corta el árbol y se determina la biomasa pesando directamente cada componente. (Araújo y *otros.*, 1999). En el segundo utiliza métodos de cubicación donde se suman los volúmenes y se toman muestras las que se pesan en el campo para calcular los factores de conversión de volumen a peso seco (Segura, 1997).

Otra forma de estimar es a través de ecuaciones de regresión matemática elaboradas en base a variables colectadas en el campo como el DAP, altura comercial o total, entre otros (Araujo y *otros.*, 1999; Brown, 1997).

La estimación de la biomasa juega un papel importante en la cuantificación de carbono capturado en el bosque. El fuste del árbol abarca la mayor cantidad de biomasa aérea, representando entre el 55 y el 77% del total, las ramas con 5 a 37 % las hojas entre 1 a 15% y por último la corteza del fuste 4 a 16% (Gayoso, Guerra & Alarcon, 2002) sabiendo que las masas homogéneas producen más biomasa que las masas heterogéneas (Solano y *otros*, 2014).

Según Alvarez (2008) los métodos mas utilizados para cuantificar la biomasa son:

a) *Método tradicional*

Está basado en los datos del volumen comercial (a partir de información básica de inventarios), la densidad básica de la madera y el factor de expansión de la biomasa (FEB). Se recomienda en los bosques densos, secundarios o maduros (correspondiente a climas húmedos y semiáridos) (Brown, 1997). Sin embargo es imprecisa, debido a la deformación que sufren las probetas por contracción y alabero durante el secado (Arevalo & Londoño, 2005) y el método por desplazamiento de fluidos arroja distintos valores según el liquido que se utilice (Londoño, 2008).

b) *Método destructivo*

La determinación de la cantidad de biomasa aérea en cualquier componente de un ecosistema requiere la aplicación del método destructivo (Brown, Gillespe & Lugo, 1989). Este método proporciona un valor exacto de la biomasa ya que consiste en destruir los árboles, para calcular su peso seco o biomasa, permitiendo plantear relaciones funcionales entre la biomasa y las variables del rodal de fácil medición como el DAP, altura comercial o total y otras. A pesar de su costo es el más preciso para estimar la cantidad de biomasa aérea (Monroy & Navar, 2004).

c) *Sensores remotos*

Los sensores remotos pueden proveer de datos que posibilitan la evaluación de coberturas boscosas en grandes extensiones (Brown & Lugo, 1992 citados por Lerma y Orjuela 2014; Calderón, Ochoa & Castilla, 1999) y hasta cierto nivel separar bosques en regeneración de bosques maduros (Calderón y *otros.*, 1999).

2.2.5. Modelos alométricos para masas forestales

Los modelos alométricos son ecuaciones de regresión matemática que permiten estimar el volumen, la biomasa y el carbono de Árboles Arbustos y Palmas (AAP) en función de variables de fácil medición tales como el DAP y la altura total (Ht) (Loestsch y *otros*, 1973; Cailliez, 1980; Henry y *otros*, 2011 ; Parresol, 2001, citados por Centre of Cooperation Internationale in Recherche [CIRAD]; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación [FAO], 2012), y variables difíciles de medir como la biomasa y el volumen. Para disminuir costos y la tasa de destrucción en el bosque o plantación se puede limitar el estudio a una muestra de árboles con el objetivo de identificar estadísticamente los parámetros alométricos para todo el conjunto de árboles presente en el área de investigación (CIRAD & FAO, 2012).

Andrade & Segura (2008) describen detalladamente el proceso para la elaboración de un modelo alométrico para AAP desde definición del ecosistema y selección de las especies de interés, determinación del tamaño de la muestra; selección de individuos por muestrear; medición, corte y estimación de volumen, biomasa y carbono por árbol hasta selección de los mejores modelos alométricos.

Los modelos son específicos para cada tipo de ecosistema, zona de vida, especie o grupo de especies (Segura & Kanninen, 2005).

En trabajos realizados en zonas tropicales se ha encontrado que la variables independientes que predicen con mayor exactitud la biomasa capturada por un árbol son el DAP, Db y Ht (Regina, 2000), variables que son las más comunes en inventarios forestales (CIRAD & FAO, 2012).

2.2.6. Selección del modelo alométrico de mejor ajuste

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

- **Coefficiente de determinación:** Indica la proporción de la variación total observada en la variable dependiente explicada por el modelo (Andrade & Segura, 2008).
- **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 & Segura, 2008).
- **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 & Navarro, 1995 citado por Lerma & Orjuela, 2014).
- **Criterio de información akaike:** Se usa para penalizar un exceso de parámetros ajustados, algo que no hace el test de chi – cuadrado (Moret & Ruíz, 1998 citados por Lerma & Orjuela, 2014; Álvarez, 2008).
- **Criterio de información bayesiano:** Es un criterio para la selección de modelos entre un conjunto finito de modelos. Se basa en la función de probabilidad y que está estrechamente relacionado con el AIC (Lerma & Orjuela, 2014).
- **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 & Andrade, 2008).

2.2.7. Modelos alométricos de biomasa aérea para Aliso.

Bhandari & Neupane (2014), realizaron una investigación de biomasa aérea en un bosque natural ubicado en Nepal estado de Bhakarjung, a una altura que oscila de 490 hasta 8091 m.s.n.m, temperatura máxima promedio de 330 C y la mínima

promedio de 5,60 C, con precipitación media anual de 3068 mm a 3353.3 mm. En la que se determinó que el mejor modelo para predecir la biomasa en aliso de Nepal en estado juvenil es $B = 57.75 + 12.07 (D^2H)$.

Mientras que en el estudio de Khila Nath & Gandhiv (2012), se determinó que existe 62.21 t/ha de biomasa aérea en *Alnus nepalensis* en Katmandú en un bosque heterogeneo con arboles mayores ubicado en la cordillera de los Himalayas en Nepal.

En el estudio para *Alnus nepalensis* en el distrito de Syanja en Nepal de Sharma (2012), se determinó que existe 86 t/ha de biomasa total.

2.2.8. Variables más empleadas en la elaboración de modelos alométricos de biomasa aérea

Las variables independientes más utilizadas en estudios de biomasa aérea son:

Tabla 1. Variables más empleadas en la generación de modelos alométricos de biomasa aérea.

VARIABLES	FUENTE	ESPECIE	SITIO
DAP, HT, CH, HC.	Álvarez (2008)	<i>Centrolobium tomentosum</i> , <i>Schizolobium parahyba</i>	Cochabamba - Bolivia
DAP, Db, HT, HC, AC	Andrade & Segura (2008)	Leñosas perennes	Turrialba – Costa Rica
DAP, HT, DB	Bhandari & Neupane (2014)	<i>Alnus nepalensis</i>	Bhakarjung - Nepal
DAP, Db, HT, HC, AC, DB, g, CH, θ , IMA	FAO & CIRAD (2012)	Masas boscosas	Roma - Italia

DAP, Db, HT, DB	khila Nath & Gandhiv (2012)	<i>Alnus nepalensis</i>	Katmandú - Nepal
DAP, HT, HC, GE, IMA	Lerma & Orjuela (2014)	<i>Miconia</i> sp, <i>Winmania auriculata</i> , <i>Baccharis</i> sp.	Paramo de Anaime - Colombia
DAP, HT, AC	(Muñoz, Ramos , Riofrio, & Nieto , sf)	<i>Alnus acuminata</i>	Cutuglahua - Ecuador

DAP: Diámetro a la altura del pecho, **HT:** Altura total, **HC:** Altura comercial o largo útil, **CH:** Contenido de humedad, **DB:** Densidad básica, **AC:** Ancho de copa, **Db:** Diámetro basal, **g:** Factor de forma, **θ:** Densidad de la población, **IMA:** Incremento medio anual.

Bhandari & Neupane (2014), manifiestan que los rangos permisibles para investigaciones de biomasa son de 10 a 30 cm de DAP, tomando en cuenta que, si se usa árboles fuera de estos rangos se puede sobre estimar la biomasa (Brown & Lugo, 1992; Delaney y otros, 1997 citados por Gutiérrez & Lopina, 2001).

En la investigación de Castillo (2012) para *Alnus nepalensis* en la zona de Intag, se registro valores de IMA para diámetro basal de 5,84 cm, para diámetro a la altura del pecho de 4,69 cm, para altura 3,79 cm y para diámetro de copa 228,92 cm a los 24 meses.

Las estadísticas descriptivas de las variables independientes muestran la dispersión de los datos y si se puede o no, realizar inferencias estadísticas en estos datos. Así por ejemplo, el coeficiente de variación (CV) indica la homogeneidad de los datos, el error estándar (EE) muestra la representatividad de las medias y la Desviación estándar (DE) indica si los datos están agrupados o no¹.

¹ Comunicación personal: Ing. Isabel Vizcaíno, Marzo 2016.

2.2.9. Plantaciones forestales

Una plantación forestal se define, según FAO (2001), citado por Álvarez (2008), como un bosque establecido mediante plantación o siembra en procesos de forestación o reforestaciones con fines conservacionistas o de aprovechamiento.

Las plantaciones forestales en su mayoría son integradas por especies introducidas entre ellas *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus camadulensis*, *Pinus radiata*, *Pinus patula*, *Pinus pseudostrabus* entre otros (Muñoz, 2001 citado por Álvarez 2008).

El establecimiento de plantaciones forestales en los últimos años crece a buen ritmo sin embargo, su contribución anual no llega al 5% del área total de bosques en el mundo. El 78% de las plantaciones tienen el objetivo de producción de madera y fibra para pulpa papel, mientras que el otro 22% son plantaciones protectoras con la finalidad de conservar fuentes hídricas y suelos degradados (Ecuador Forestal, 2007).

En Ecuador existe 163 000 hectáreas de plantaciones forestales, las principales especies que se producen son Eucalipto, Pino, Teca y Balsa. En el país la producción forestal ha tomado mayor interés debido a la demanda del mercado mundial, pero aparte del valor comercial la producción forestal genera otros valores como el secuestro de carbono (Moreira, s.f.), sin embargo según el MDL (Mecanismos de Desarrollo Limpio) del protocolo de Kioto, solo son elegibles las plantaciones que tengan como fin reforestar o forestar y que cumplan con diferentes reglas o modalidades (Ecuador Forestal, 2007).

En la zona de Intag, los comuneros tienen un alto interés por el aliso de Nepal (*Alnus nepalensis*) especie introducida en el año de 1995 en el proyecto Subir, a la presente fecha en la UTN se está investigando el área que se encuentra cubierta por plantaciones y sistemas agroforestales por parte de la carrera de Ingeniería Forestal

en una tesis de Pregrado con el objetivo de actualizar la información forestal y saber cuál sistema de plantación predomina en la zona².

2.2.10. Descripción de la especie

2.2.10.1. Descripción botánica

Las características de la especie fueron tomadas de Duke (1983), citado por Castillo (2012) e Imbaquingo & Naranjo (2010).

Es un árbol caducifolio o semidecíduo con un tronco recto que alcanza hasta 30 m de altura y 60 cm de diámetro. La corteza de color verde oscuro o gris, a menudo con manchas amarillentas, lenticelado.

Las hojas son: alternas, elípticas, 6 – 20 cm de largo y de 5 – 10 cm de ancho, el haz es brillante de color verde oscuro y el envés es pálido. Las flores se distribuyen en amentos, en las cuales se encuentran flores masculinas y femeninas por separado en las mismas o diferentes ramas. Los amentos masculinos son de color amarillo, 10 – 25 cm de largo, y cuelgan en racimos al final de ramitas; los amentos femeninos son mucho más cortos, erectos y leñosos y se producen en la ramificación lateral de las ramitas.

Los frutos son de color marrón oscuro, en posición vertical sobre tallos cortos, elípticos, son de consistencia leñosa, los conos vacíos pueden persistir en el árbol. Las semillas son de color marrón claro, circular y plana, con dos grandes alas membranosas, más de 2 mm de ancho.

2.2.10.2. Ecología

La Ecología de la especie fue tomada de Duke (1983) citado por Imbaquingo & Naranjo (2010).

² Comunicación personal: José Luis Cevallos, estudiante de pregrado UTN. Junio 2016.

El aliso de Nepal, se desarrolla en todo el Himalaya entre 500 – 3000 m.s.n.m, en paquistan a través de Nepal, norte de la India, Bután y Birmania superior a sudoeste de China e Indochina. En bosque húmedo, fresco o climas de monzón subtropical de montaña, se lo puede encontrar en estado natural con precipitaciones que oscilan desde 500 – 2500 mm de 4 a 8 meses y una estación seca.

Crece en suelos húmedos y bien drenados, es una especie pionera y crece bien a plena luz, sin embargo tolera la sombra.

CAPITULO III

3. MATERIALES Y MEDOLOGÍA

3.1. DESCRIPCIÓN DEL SITIO

a) Fase de campo

El estudio se realizó en la provincia de Imbabura, cantón Cotacachi, parroquia Plaza Gutiérrez, localizada al sur occidente de la provincia de Imbabura (Gobierno autónomo descentralizado parroquial rural Plaza Gutierrez, 2011).

El sitio específico se encuentra situado en el sector La Delicia de la parroquia Plaza Gutiérrez (Figura 1), con una precipitación promedio 1393.2 mm temperatura 12°C a 15°C, humedad relativa 70% - 80% y con una pendiente de 64,93% (Terrenos de secano, no arables de clase 7). Suelos de color verde grisáceo muy oscuro (5G_/2 2.5/) textura franco – franco arenoso con un ph muy fuertemente ácido, porcentaje de nitrógeno y fosforo alto, contenido de potasio adecuado y contenido de materia orgánica alto en el horizonte A (Anexo 4), y con gris verdoso (5GY 6/1) textura franco arenoso, con un ph fuertemente ácido, contenido de nitrógeno y fosforo altos, contenido de potasio adecuado y contenido de materia orgánica media en el horizonte B (Anexo 5).

El sitio antes de la plantación del aliso de Nepal experimentó cambios de uso del suelo pasando de ser un *bosque siempre verde montano alto de la cordillera occidental de los Andes* (MAE, 2013), a cultivos como frijol (*Phaseolus vulgaris*) y maíz (*Zea mays*). Para el establecimiento de estos cultivos se realizó quemadas controladas eliminando así la vegetación arbustiva³.

³ Comunicación personal: Ing. Hugo Vallejos, Junio 2016.

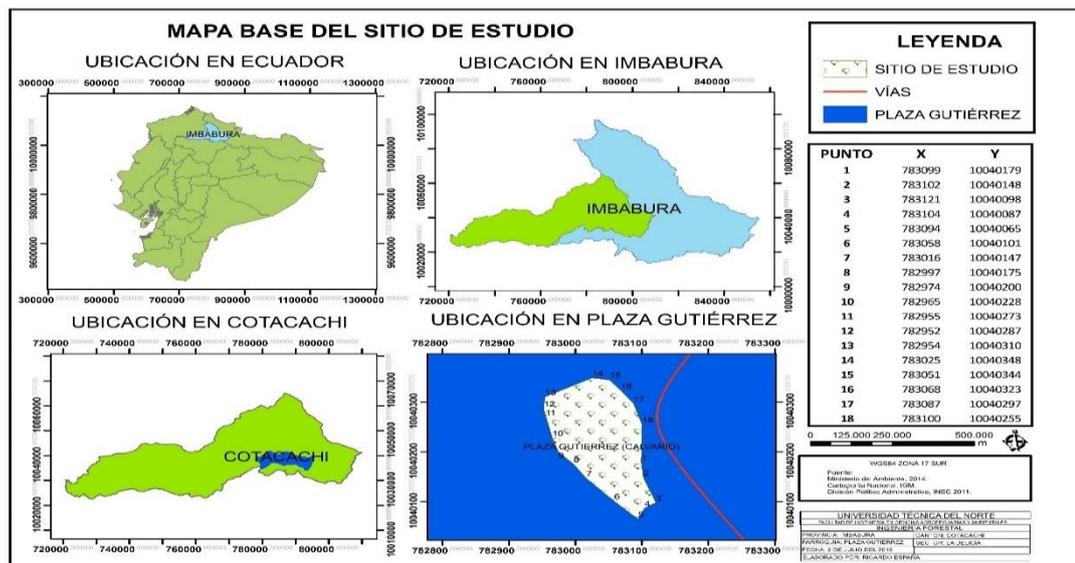


Figura 1. Mapa base del sitio de estudio.

b) Fase de laboratorio

Las muestras se secaron en el Laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca de la granja experimental Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte.

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

a) Laboratorio

- Horno
- Balanza

b) Equipos e instrumentos

- Formularios para toma de datos (Anexo 1)
- Motosierra
- Estufa
- Calibrador
- Balanzas
- Cinta métrica
- Cinta diamétrica

c) **Insumos**

- Material para embalaje

d) **Material vegetativo**

- Árboles de Aliso de Nepal
- Muestras de 200 g, por componente de árbol.

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra se determinó con la siguiente ecuación (Ec. 1) (Aguirre & Vizcaino, 2010):

$$n = \frac{t_{\alpha}^2 S^2}{E^2} ; n = \frac{1,6909^2 \times 3,269}{1,03^2} ; n = \frac{9,346}{1,068} ; n = 8,749 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

n: tamaño de muestra

t α : valor de t de Student

S²: varianza

E²: error (10% de la media)

Considerando que el tamaño de la muestra debe de tener una íntima relación con el tamaño de la población, que en este caso fue de 2 222 árboles, se calculó el tamaño de muestra ajustado con la siguiente ecuación (Ec. 2) (Aguirre & Vizcaíno 2010):

$$n_2 = \frac{n_1}{1 + \frac{n_1}{N}} ; n_2 = \frac{8,749}{1 + \frac{8,749}{2222}} ; n_2 = \frac{8,749}{1,004} ; n_2 = 8,715 \approx 9 \text{ Árboles} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

n₂: tamaño de la muestra ajustado

n₁: tamaño de la muestra

N: tamaño de la población

3.3.2. Objetivo 1: Determinar los parámetros de forma de los árboles en pie

Para determinar los parámetros de los árboles en pie se usó la metodología propuesta por Andrade y Segura (2008):

a) *Medición de diámetro y diámetro basal*

El diámetro de los árboles fue medido a 1,30 cm (DAP) y a 30 cm (Db) de la base del fuste, con cinta métrica.

b) *Estimación del ancho de la copa del árbol*

Se realizó una proyección de la copa del árbol en el suelo, midiendo con una cinta métrica en cruz el diámetro de la proyección; luego, se calculó el área con la ecuación (Ec. 3) (Steel & Torrie, 1988):

$$A = \frac{\pi}{4} * d^2$$

Ec. 3

Donde:

A= área

$\pi = 3,141592$

d = diámetro

3.3.3. Objetivo 2: Calcular la biomasa de los árboles muestreados

Para el cálculo de la biomasa se usó la metodología propuesta por Andrade y Segura (2008):

a) *Apeo de individuos seleccionados y medición de longitud*

Una vez cortados los árboles, sobre el suelo se midió con una cinta métrica la longitud total del fuste.

b) *Peso de los componentes y toma de muestras para análisis en laboratorio*

Los componentes estudiados fueron: fuste, ramas y hojas.

Para pesar estos componentes se:

- Se dividió el fuste y las ramas en secciones de 1 y 0,50 m respectivamente, para facilitar el pesaje.
- Se tomó una muestra de 200 g en estado húmedo de cada uno de los componentes y se embolsó con plástico. Estas muestras se llevaron al laboratorio de anatomía de maderas y xiloteca de la granja experimental Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte.
- Las muestras se secaron al horno a 60 °C durante 72 horas para luego pesar la materia seca.

La biomasa se calculó con la siguiente ecuación (Ec 4) (Andrade & Segura, 2008):

$$B = \frac{Pf * Ms}{100}$$

Ec. 4

Donde:

B = biomasa (kg)

Pf = peso fresco (kg)

Ms = materia seca (%)

Para determinar el peso de la biomasa aérea total se sumó los resultados de los componentes (Ec. 5) (CIRAD & FAO, 2012).

$$B_T = B_F + B_R + B_H$$

Ec. 5

Donde:

B_T = biomasa total (kg)

B_F = biomasa del fuste (kg)

B_R = biomasa de las ramas (kg)

B_H = biomasa de hojas (kg)

3.3.4. Objetivo 3: Seleccionar el mejor modelo alométrico

Para seleccionar los mejores modelos alométricos se utilizó la metodología propuesta por Andrade y Segura (2008), que a continuación se indica. Para el procesamiento de los datos se usó los programas estadísticos InfoStat versión 2015 e IBM SPSS Statistics 19 versión 2015.

a) *Organización de los datos y correlación entre variables*

Se organizó los datos de cada individuo en una fila, detallando en las columnas las variables independientes (dap, db, ht, área de copa) y dependiente biomasa total (Anexo 2). Luego se graficó la biomasa total frente a cada variable independiente para ver las tendencias de los datos y probar diferentes modelos.

Posteriormente se calculó el coeficiente de correlación con las variables independientes y la variable dependiente, usando para ello la siguiente ecuación (Ec. 6) (Steel & Torrie, 1988):

$$r_{xy} = \frac{C_{xy}}{\sqrt{S_x^2 * S_y^2}}$$

Ec. 6

Donde:

r_{xy} = correlación de Pearson

C_{xy} = covarianza

S^2 = varianza

Los datos que no ofrecieron una correlación aceptable, fueron transformados a ln, log₁₀, raíces y potencias con el propósito de obtener una mejor correlación entre variables.

b) *Selección de los mejores modelos*

Se evaluó los modelos con los mecanismos estadísticos: coeficiente de determinación (R^2), coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado), error estándar de la estimación (RCME) y criterio de información akaike (AIC),

proporcionados por los programas estadísticos InfoStat versión 2015 e IBM SPSS Statistics 19 versión 2015.

Posteriormente se escogió a los 15 mejores modelos y se los calificó de acuerdo a cada mecanismo estadístico evaluado (uno al mejor modelo, dos al segundo mejor y así sucesivamente). Luego se sumaron las calificaciones y se eligió a los cinco modelos con menor suma.

c) Comparación de observaciones reales versus las estimaciones de los mejores modelos

Una vez seleccionados los cinco modelos se graficó los valores estimados (x), versus los valores observados (y) para cada modelo. Finalmente se eligió a los dos modelos que más se ajustaron a los datos.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Estadística de los parámetros de forma de los árboles

El promedio de DAP y de la Ht de los árboles fue de 14,32 cm y 972 cm respectivamente a los tres años de edad de la plantación. La estadística de los parámetros de forma de los árboles mostró valores aceptables, suficiente para realizar inferencias estadísticas (Tabla 1). Así, la desviación estándar mostró datos agrupados, el error estándar indicó medias representativas y los coeficientes de variación mostraron relativa homogeneidad entre los valores observados (Anexo 6). Andrade & Segura (2008) manifiestan que si los datos muestran heterogeneidad entre ellos pueden afectar al modelo tanto en forma como en estructura.

Bhandari & Neupane (2014), manifiestan que los rangos permisibles para investigaciones de biomasa son de 10 a 30 cm de DAP, debido a que, si se usa árboles fuera de estos rangos se puede sobre estimar la biomasa (Brown & Lugo, 1992; Delaney y *otros*, 1997 citados por Gutiérrez & Lopina, 2001).

Tabla 2. Estadísticas descriptivas de los parámetros de forma de los árboles.

VARIABLE S	MEDI A (cm)	DESVIACIÓN ESTANDAR	ERROR ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
DAP	14,32	2,21	0,74	15,45
Db	16,78	2,17	0,72	12,94
Ht	972	79,42	26,47	8,17
Ac	546,94	72,24	24,08	13,21

Las condiciones edafoclimáticas en las que se encuentra esta plantación de aliso de Nepal son similares a las registradas por Imbaquingo & Naranjo (2010) y Castillo (2012), para la misma especie, en la zona. Mientras que las condiciones en las que se encuentran las investigaciones de Bhandari & Neupane (2014), Khila Nath &

Ghandiv (2012) y Sharma (2012) para la misma especie son totalmente diferentes, debido a que son bosques heterogeneos ubicados en Bhakarjung, Nepal, Katmandú, Nepal y Syanja, Nepal respectivamente, a una altura que oscila de 490 hasta 8091 m.s.n.m, temperatura promedio 5,60 hasta 33 C con precipitación media anual de 3068 mm a 3353.3 mm.

En la Tabla 2 se muestra el IMA de las variables independientes (DAP, Db, Ht y Ac). En la misma zona, Castillo (2012), registro valores de IMA superiores para la especie en sistemas agroforestales, en donde como es obvio, se realizan constantes labores culturales, lo que contribuye a un mayor crecimiento. La presente investigación se realizó en una plantación pura de aliso que nunca fue fertilizada ni manejada, sin embargo antes de la plantación se implementaron cultivos de ciclo corto que pudieron aportar nutrientes al terreno.

Tabla 3. Incremento medio anual de las variables independientes.

IMA / AÑOS	DAP (cm)	Db (cm)	Ht (cm)	Ac (cm)
3	4,77	5,59	324	182,31

4.2. Cálculo de biomasa aérea

La biomasa aérea total promedio fue de 37,53 t/ha. La biomasa aérea fue determinada mediante el método directo, el cual proporciona un valor exacto porque consiste en cortar los árboles y pesar sus componentes (Brown, 1997), el inconveniente es su alto costo en términos de tiempo y recurso económico (Alvarez, 2008). Sin embargo es el más preciso (Monroy & Navar, 2004); por su parte la medición tradicional de volumen es imprecisa, debido a la deformación que sufren las probetas por contracción y alabero durante el secado (Arevalo & Londoño, 2005) y el método por desplazamiento de fluidos arroja distintos valores según el liquido que se utilice (Londoño, 2008).

Al calcular la desviación estándar, el error estándar y el coeficiente de variación indicaron valores aceptables, suficientes para realizar inferencias estadísticas

(Tabla 3). Khila Nath & Gandhiv (2012), en un estudio realizado para la misma especie, en un bosque heterogéneo ubicado en Katmandú en la cordillera de los Himalayas, Nepal, obtuvo 62,21 t/ha y en la investigación de Sharma (2012) para la misma especie en el distrito de Syanja se determinó que existe 86,34 t/ha de biomasa total. Esta diferencia se puede deber a que los árboles incluidos en este estudio, fueron de menor edad (tres años). Aunque según CIRAD & FAO (2012) y Solano y otros (2014) afirman que las masas homogéneas producen más biomasa que las masas heterogéneas.

Tabla 4. Estadística descriptiva de la biomasa en estado verde, seco y biomasa total.

VARIABLE	MEDIA (kg/árbol)	MEDIA (t/ha)	DESVIACIÓN ESTANDAR	ERROR ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
BIOMASA VERDE (kg)	42,57	47,29	2,26	0,75	5,31
BIOMASA SECA (%)	79,28	88,08	12,98	4,33	16,37
BIOMASA TOTAL (kg)	33,78	37,53	5,83	1,94	17,26

4.3. Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea

En la Figura 2 se muestran las representaciones gráficas de las variables independientes versus la variable dependiente. Las variables DAP y Db mostraron un ajuste aceptable (80%). En la investigación para *Centrolobium tomentosum* y *Schizolobium parahyba* en el trópico de Cochabamba, Bolivia, de Álvarez (2008) y en la investigación de Bhandari & Neupane (2014) para *Alnus nepalensis* en Bhakarjung, Nepal determinaron que las variables que mejor se correlacionan con la biomasa son el DAP y la Ht. Asimismo en trabajos realizados en zonas tropicales se ha encontrado que la variables independientes que mejor predicen la biomasa de un árbol son el DAP, Db y Ht (Regina, 2000), variables que son las más comunes por su disponibilidad en inventarios forestales (CIRAD & FAO, 2012).

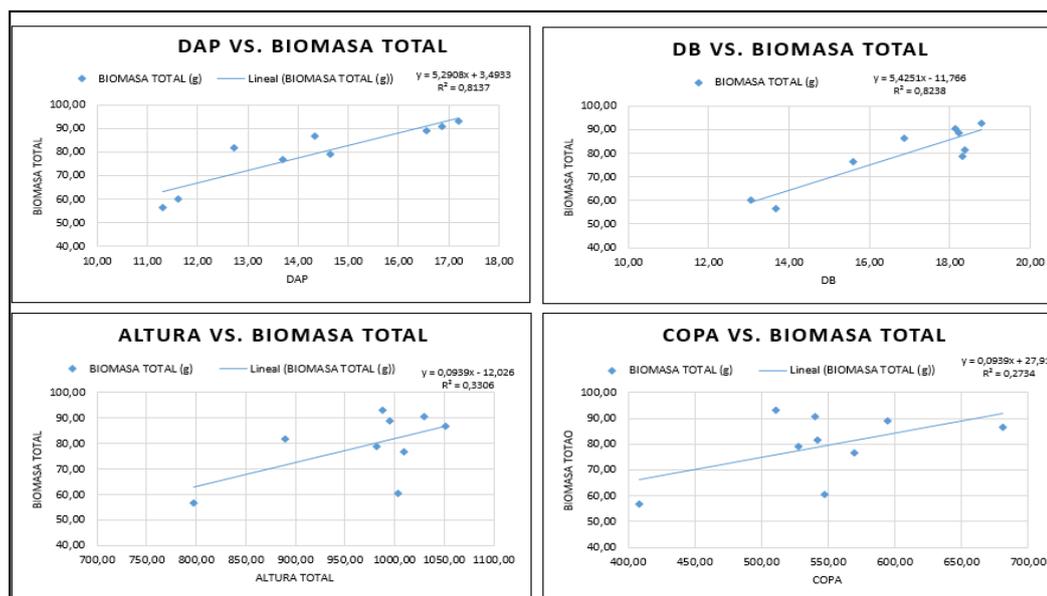


Figura 2. Exploración gráfica de variables independientes versus la variable dependiente.

En este estudio, se encontró una alta correlación entre DAP y Db, respecto a la biomasa al 95 y 99% de probabilidad estadística (Tabla 4). Esta correlación fue similar a la reportada por Lerma & Orjuela (2014) para *Miconia* sp, *Winmania auriculata*, *Baccharis* sp, en el páramo de Anime, Colombia, se presume que esta similitud se debe a la poca competencia y la alta disponibilidad de nutrientes en los dos ecosistemas. También considerando que las variables DAP, DB y Ht casi siempre tienen una correlación no menor a $r = 0.7$ que se la considera positiva. (Brown *et al.*, 1989; Brown e Iverson, 1992; Pérez & Kanninen, 2002; Segura & Kanninen, 2005 citados por Lerma & Orjuela, 2014).

Tabla 5. Análisis de correlación entre las variables independiente (DAP, Db, Ht y Ac) con respecto a la variable dependiente biomasa total.

	DAP (cm)	Db (cm)	Ht (cm)	Ac (cm)
Correlación	0,90	0,91	0,57	0,52
Significancia	**	**	Ns	Ns
$r_{\alpha 0.05}$	0,632			
$r_{\alpha 0.01}$	0,765			

** : altamente significativo, Ns: no significativo

Con base a la correlación y a las transformaciones de ln, log₁₀, raíces y potencias se ajustaron preliminarmente 15 modelos (Anexo 3), los cuales fueron ponderados

usando los estadígrafos: coeficiente de determinación, coeficiente de determinación ajustado, cuadrado medio del error y criterio de información akaike.

En la Tabla 5 se presentan los cinco modelos de biomasa aérea (tres modelos con tres regresoras y otros dos modelos con dos regresoras) de mejor ajuste para la especie. Todos los modelos obtuvieron coeficientes de determinación igual o mayor a 0.90, lo cual es altamente significativo, pues sobre 0.80 se considera ya un nivel alto de predicción (CIRAD & FAO, 2012). Todos los modelos consideran los contrastes necesarios para afirmar su validez estadística y son concordantes en estructura con modelos generados en otras investigaciones. Por ejemplo Álvarez (2008), Bhandari & Neupane (2014), Khila Nath & Gandhiv (2012) y Lerma & Orjuela (2014).

Por lo expuesto anteriormente, podemos concluir que la combinación de las variables (DAP, Db y la Ht) y la transformación a ln para estas variables, fueron las mejores combinaciones para predecir la biomasa aérea. Mientras que la variable Ac fue descartada por presentar una alta dispersión con respecto a la biomasa aérea. En estudios de biomasa aérea para otras especies en zonas tropicales las variables que menos se correlacionan con la biomasa aérea son Ac e IMA por presentar altos índices de dispersión, como por ejemplo en Álvarez (2008), Bhandari & Neupane, (2014) y CIRAD & FAO (2012).

Tabla 6. Modelos alométricos para predecir la biomasa aérea y estadígrafos obtenidos para aliso de Nepal.

N	Modelo	R ²	R ² ajustado	CME	AIC
M1	$B = e^{-2,48+0,547 \ln(DB^2 \times HT)}$	0,94	0,93	0,05	-26,01
M2	$B = e^{-1,988+0,257 \ln(DAP^2 \times HT^2 \times DB^2)}$	0,93	0,92	0,05	-24,54
M3	$B = -163,36 + 44,42 \ln(DAP \times DB)$	0,92	0,91	3,84	53,53
M4	$B = e^{1,062+0,604 \ln(DAP \times DB)}$	0,92	0,91	0,05	-22,77

$$\mathbf{M5} \quad B = 37,157 + 1,76 \times 10^{-4} (DAP \times DB \times HT) \quad 0,90 \quad 0,89 \quad 4,31 \quad 55,58$$

R²: Coeficiente de determinación, **R² ajustado**: Coeficiente de determinación ajustado, **CME**: Cuadrado medio del error, **AIC**: Criterio de información akaike, **B**: biomasa, **ln**: logaritmo natural, **e**: 2,7182, **DAP**: diámetro a la altura del pecho, **DB**: diámetro basal, **HT**: altura total.

Generados los modelos se graficó la dispersión de los valores predichos versus los valores observados de la biomasa aérea y no se observó una tendencia que pudiera rechazar los resultados de los análisis realizados. Sin embargo, los modelos M3 y M5 mostraron un mejor ajuste a la línea de regresión (Figuras 3 y 4) mientras que los modelos M1, M2 y M3 mostraron leves sesgos sistemáticos, sobrestimando la biomasa aérea (Anexos 7, 8 y 9).

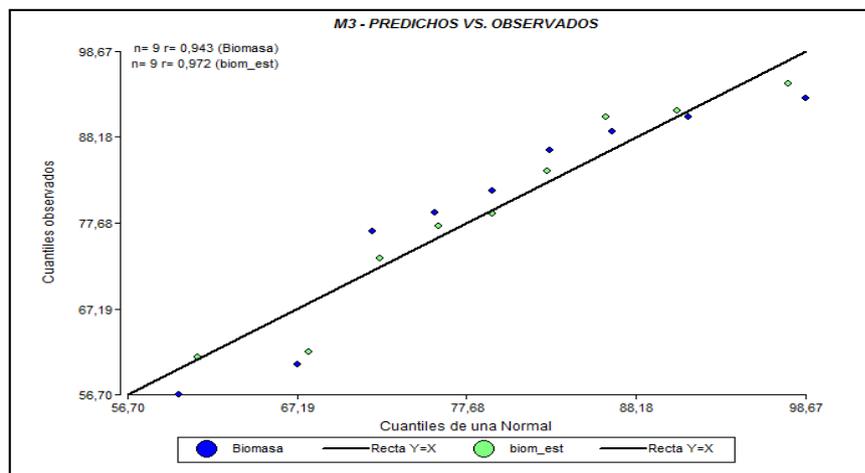


Figura 3. Exploración gráfica de los valores predichos versus los valores observados para el modelo 3.

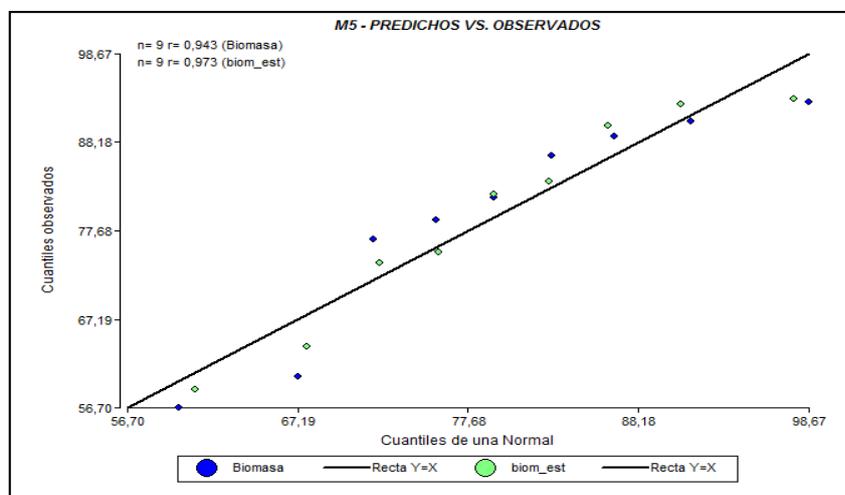


Figura 4. Exploración gráfica de los valores predichos versus los valores observados para el modelo 5.

Por lo expuesto anteriormente, se determinó que los modelos $B = -163.36 + 44.42 \ln(\text{DAP} \times \text{DB})$ y $B = 37.157 + 1.75 \times 10^{-4}(\text{DAP} \times \text{DB} \times \text{HT})$ son los mejores para estimar la biomasa aérea del aliso de Nepal para el sitio de estudio. Lo que confirma que los modelos que mejor predicen la biomasa aérea son los de tipo logarítmico (Schlegel, 2001 citado por Solano y *otros*, 2014), y que cuando se utilizan ecuaciones de dos o más variables se consiguen estimaciones de biomasa más exactas (Segura y *otros.*, 2005; Segura y *otros.*, 2006 y Schlegel, 2001 citados por Solano y *otros*, 2014). El grado de confiabilidad de estas ecuaciones es del 95%.

Para validar estos modelos se usó los datos de la presente investigación, en el modelo $B = 57.75 + 12.07 (\text{DAP}^2 \text{Ht})$ generado en la investigación de Bhandari & Neupane (2014) para la misma especie en Nepal, estado de Bhakarjung. Al someter los datos a este análisis el R^2 disminuye a 0.79 (Anexo 10) y se manifiesta un sesgo en los datos subestimando la biomasa del bosque (Anexo 11). Por esta razón, los modelos generados en esta investigación predicen mejor la biomasa aérea capturada en este sitio. El uso de modelos alométricos desarrollados en ecosistemas diferentes a los del sitio de estudio presentan limitaciones, debido a las distintas condiciones que rigen el crecimiento de los árboles (Alvarez, 2008). Por lo dicho anteriormente, los modelos alométricos son específicos para cada zona de vida, ecosistema, edad. (Segura y Kanninen, 2005; Andrade y Segura, 2008; Ortiz, 1993).

En este contexto podemos inferir que la hipótesis se cumple, debido a que existen dos mejores modelos que pueden predecir con un mínimo margen de error la biomasa secuestrada por el aliso de Nepal.

Los modelos generados en esta investigación pueden ser usados para calcular la biomasa aérea de aliso de Nepal en la zona y en condiciones similares a las de este sitio. Sin embargo, se debe validar los modelos en árboles de mayor edad.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los árboles de aliso de Nepal tuvieron un DAP y Ht promedio de 14,32 cm y 972 cm respectivamente a los tres años de edad de la plantación y un IMA en DAP y Ht de 4,77 cm y 324 cm respectivamente los cuales son altamente representativos a la edad de la plantación.
- El promedio de biomasa aérea capturada por el aliso de Nepal en las condiciones del sitio fue de 37,53 t/ha.
- Se observó que los modelos con mejor ajuste fueron $B = -163.36 + 44.42 \ln(\text{DAP} \times \text{DB})$ y $(B = 37.157 + 1.75 \times 10^{-4}(\text{DAP} \times \text{DB} \times \text{HT}))$ los cuales tienen un R^2 de 0.93 y 0.90 respectivamente.
- Los mejores modelos fueron aquellos en los cuales se usaron las variables DAP, DB y Ht y también los modelos en los cuales se usan transformaciones con \ln y potencias de dichas variables.
- Los modelos alométricos generados en el sitio de la investigación son los mejores para cuantificar la biomasa aérea para la especie, debido a que si se usan otros modelos de un sitio diferente existiera sesgos sistemáticos en la cuantificación de la biomasa aérea.

5.2. RECOMENDACIONES

- Por su simplicidad, se debería usar modelos con las variables Dap, Db y Ht, debido a que son las mediciones más comunes en inventarios forestales y con mayor precisión a la hora de predecir la biomasa.

- Para fines de cuantificación de biomasa aérea, se recomienda calcular la densidad de la madera y el factor de forma de los árboles. En virtud de que estas variables pueden ayudar en un mejor ajuste a los modelos alométricos.
- Para mayor precisión se recomienda utilizar un mayor número de estadígrafos que califiquen a los modelos alométricos.
- Esta investigación debería de servir como una línea base para determinar la biomasa aérea y por ende el carbono capturado por el aliso de Nepal en toda la zona de Intag.
- Si se desea utilizar los modelos alométricos generados en esta investigación, se debe tener en cuenta las condiciones edafoclimáticas del sitio en el cual se generaron. Esto permitiría validar, probar la factibilidad y hasta que nivel son confiables estas fórmulas.
- Las ecuaciones alométricas se pueden aplicar en diferentes ámbitos del sector forestal, tales como: manejo de bosques, predicción del crecimiento, captura de carbono, determinación de volumen, etc.
- Para futuras investigaciones se recomienda elaborar modelos alométricos de biomasa total para tener mayor información acerca de biomasa captura por la especie en la zona.

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta M, Q. K. (2001). *Un método para la medición de carbono almacenado en la parte aérea de sistemas con vegetación natural e inducida en terreno de ladera en México*. Valdivia - Chile: INIFAP.
- Aguirre, C., & Vizcaino, M. (2010). *Aplicación de estimadores estadísticos y diseños experimentales en investigaciones forestales*. Ibarra: Universitaria.
- Ali, S., De Petre, A., & Karlin, O. A. (s.f). *Alternativas de sustentabilidad del bosque nativo del Espinal*. Argentina.
- Alvarez, G. (2008). *Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia*. Turrialba, Costa Rica: Centro agronomico tropical de investigación y enseñanza CATIE.
- Álvarez, G. (2008). *Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia, Biomasa Forestal*. Costa Rica: CATIE.
- Andrade, H., & Segura, M. (2008). *¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes?* Costa Rica: CATIE.
- Bhandari, k., & Neupane, H. (2014). *Biomass modeling of *Alnus nepalensis* D. Don at juvenile stage*. Nepal: Crossing the Border: Journal of Interdisciplinary studies.

- Bhandari, S. K., & Neupane, H. (2014). BIOMASS MODELING OF ALNUS NEPALENSIS D. DON AT. *Crossing the Border: International Journal of Interdisciplinary Studies* , 51 - 53.
- Castillo, N. (2012). *Análisis del comportamiento del aliso Alnus nepalensis D. Don, asociado con brachiaria Brachiaria decumbens Staff y pasto miel Setaria sphacelata (Schumach) Staff & C. E. Hubb y pasturas en monocultivo*. Ibarra: Editorial Universitaria.
- Centre de Coopération Internationale en Recherche, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. (2012). *Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles*. Roma: CIRAD.
- Centro para la Investigación Forestal Internacional. (s.f). *Guía de CIFOR sobre bosque, cambio climático y REDD*. Indonesia: CIFOR.
- Chou, S. W., & Gutierrez, E. (2012). Ecuacion para estimar la biomasa arbórea en los bosques de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (1992). Cambio Climático. En N. Unidas, *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (pág. 6). New York: CMNUCC.
- Ecuador Forestal. (2007). *Plantación estratégica - Plantaciones forestales en el Ecuador*. Quito: Ecuador forestal.
- Gayoso , J., Guerra, J., & Alarcon, D. (25 de Mayo de 2002). *Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas*. Obtenido de Minga on line:
http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S071792002005000200005&script=sci_arttext
- Gobierno autónomo descentralizado parroquial rural Plaza Gutiérrez. (2011). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquial*. Cotacachi.

- Gutierrez Vélez, V. H., & Lopera Arango, G. J. (2001). *Metodología para la cuantificación de existencias y flujo de carbono en plantaciones forestales*. Valdivia - Chile: Universidad nacional de Colombia.
- Gutierrez, V., & Lopina, G. (2001). *Metodología para la cuantificación de existencias y flujo de carbono en plantaciones forestales*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Imbaquingo, E., & Naranjo, D. (2010). *Comportamiento inicial de aliso (*Alnus nepalensis* D. Don) y cedro tropical (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn), asociados con brachiaria (*Brachiaria decumbens* Stapf) y pasto miel (*Setaria sphacelata* (Schumach) Stapf & C.E. Hubb)*. Ibarra: UTN.
- IPCC. (24 de Mayo de 2001). *Tercer Informe de Evaluación de la Mitigación del Cambio Climático*. Obtenido de http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml.
- IPCC. (20 de Mayo de 2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Obtenido de http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/GPG_LU_LUCF_FULL.pdf
- khila Nath, D., & Gandhiv, K. (2012). *Organic Carbon in Soil and Biomass of an *Alnus nepalensis* Forest in Kathmandu, Nepal*. Hetauda, Nepal: Institute of Forestry.
- Lerma, M., & Orjuela, E. (2014). *Modelos Alométricos para la estimación de la biomasa aérea total en el páramo de Anaime, departamento del Tolima, Colombia*. Colombia: Universidad de Colombia.
- Loestch, F., Haller, K., & Zohrer, F. (1973). *Forest inventory*. Munich, DE, BLV. Munich: Verkagsgesellschaft.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). *Mapa de Ecosistemas del Ecuador*. Quito.

- Monroy, C., & Navar, J. (2004). *Ecuaciones de actividad para estimar componentes de biomasa de Hevea brasiliensis Muell.* Mexico: Madera y Bosques.
- Morán, J. M., & Morán, M. D. (1994). *Meteorolog y: The atmosphere and the science of weather* . New York: Publishing C.o.
- Moreira, M. (s.f.). Los viveros y la producción de especies forestales. *UTPL*, 1.
- Muñoz, J., Ramos , R., Riofrio, J., & Nieto , C. (sf). Modelos alométricos para estimación de carbono en Aliso (*Alnus acuminata* O Ktze) bajo sistema agroforestal en la sierra ecuatoriana. *X Congreso Ecuatoria de las ciencias del suelo* , 2 - 3.
- Panel Intergubernamental para el Cambio Climático. (2007). *Cambio Climático 2007, Base de la Ciencia Física*. China: Administración Metereológica China.
- Ramirez López, J. L. (2012). *Secuestro de carbono en plantaciones de eucalipto (Eucalyptus globulus Labill) - cantón Pedro Moncayo*. Ibarra: Editorial Universitaria.
- Regina, S. (2000). *Biomass estimation and nutrient pools in four Quercus pyrenaica in Sierra de Gata, Salamanca*. Spain: Forest Ecology Management.
- Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). Objetivo 7 . En SEMPLADES, *PLan Nacional del Buen Vivir 2013 - 2017* (pág. 221). QUITO: Semplades.
- Segura, M. (1997). *Almacenamiento y fijación de carbono en Quercus costaricensis, en bosques de altura en la cordillera de Talamanca*. Heredia: Universidad Nacional.

- Sharma, R. (2012). Modelling dry matter allocation within *Alnus nepalensis*. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 48 - 50.
- Solano, D., Vega, C., Eras, H., & Cueva, K. (2014). Generación de modelos alométricos para determinar la biomasa aérea a nivel de especies, mediante el método destructivo de baja intensidad para el estado de bosque seco pluviestacional del Ecuador. *CEDAMAZ*, 18 - 19.
- Steel, R., & Torrie, J. (1988). *Bioestadística, principios y procedimientos*. Mexico: McGraw - Hill.
- Toivenen, A. &. (2002). Descripción del género *Polylepis* y reporte de especies repotadas FANPE/GTZ.
- Zamora, J. C. (2011). *Implicaciones del cambio climático para el almacenamiento de carbono y la riqueza de especies en bosques naturales en Costa Rica*. Costa Rica: CATIE.

CAPITULO VII

6. ANEXOS

6.1. CUADROS

Anexo 1. Matriz de toma de datos de biomasa en el campo.

MATRIZ TOMA DE DATOS				
CODIGO	COMPONENTES			
	FUSTE(gr)	RAMAS (gr)	HOJAS (gr)	INFLORESCENCIAS Y FRUTOS (gr)
A1				
A2				
A3				
A4				
A5				
A6				
A7				
A8				
A9				

Anexo 2. Matriz de toma de datos dasométricos en el campo.

CODIGO	VARIABLES INDEPENDIENTES			VARIABLES DEPENDIENTES
	DIAMETRO	ALTURA TOTAL	ALTURA COMERCIAL	ÁREA DE COPA BIOMASA TOTAL
A1				
A2				
A3				
A4				
A5				
A6				
A7				
A8				
A9				

Anexo 3. Calificación a mejores modelos de biomasa aérea con estadígrafos obtenidos para aliso de Nepal.

N°	MODELO	R ²		R ² ajustado		CME		AIC		CALIFICACIÓN TOTAL
		VALOR	CALIFICACION	VALOR	CALIFICACION	VALOR	CALIFICACION	VALOR	CALIFICACION	
1	$B = e^{-2,48+0,547 \ln(DB^2 \times HT)}$	0,94	1,00	0,93	1,00	0,05	1,00	-26,01	1,00	0,27
2	$B = e^{-1,988+0,257 \ln(DAP^2 \times HT^2 \times DB^2)}$	0,93	2,00	0,92	2,00	0,05	2,00	-24,54	2,00	0,53
3	$B = -163,36 + 44,42 \ln(DAP \times DB)$	0,92	3,00	0,91	3,00	3,84	4,00	53,53	4,00	0,93
4	$B = e^{1,062+0,604 \ln(DAP \times DB)}$	0,92	4,00	0,91	4,00	0,05	3,00	-22,77	3,00	0,93
5	$B = 37,157 + 1,76 \times 10^{-4} (DAP \times DB \times HT)$	0,90	5,00	0,89	5,00	4,31	5,00	55,58	5,00	1,33
6	$B = 40,067 + 2,534 \times 10^{-0,72} (DB^2 \times HT \times COP)$	0,890	6,00	0,87	6,00	4,591	6,00	56,710	6,00	1,60
7	$B = 31,77 + 0,195 (DB \times DAP)$	0,889	7,00	0,87	7,00	4,627	7,00	56,860	7,00	1,87
8	$B = 56,017 + 6,783 \times 10^{-13} (DAP^2 \times DB^2 \times HT^2 \times COP)$	0,885	8,00	0,87	8,00	4,695	8,00	57,120	8,00	2,13
9	$B = 55,085 + 3,896 \times 10^{-07} (DAP^2 \times DB^2 \times HT)$	0,851	9,00	0,83	9,00	5,361	9,00	59,500	9,00	2,40
10	$B = 56,175 + 3,758 \times 10^{-10} (DAP^2 \times DB^2 \times HT^2)$	0,851	9,00	0,83	9,00	5,364	10,00	59,510	10,00	2,53
11	$B = -11,786 + 5,426 (DB)$	0,824	11,00	0,80	11,00	5,826	12,00	61,000	11,00	3,00
12	$B = -307,36 + 31,747 \ln(DAP^2 \times HT)$	0,825	10,00	0,80	10,00	5,798	11,00	62,650	15,00	3,06
13	$B = 6,476 + 0,738 (DAP \times LN(HT))$	0,818	12,00	0,79	12,00	5,925	13,00	61,300	12,00	3,27
14	$B = 3,51 + 5,29 (DAP)$	0,813	13,00	0,79	13,00	5,995	14,00	61,520	13,00	3,53
15	$B = 48,140 + 2,72 \times 10^{-07} (DAP^2 \times HT \times COP)$	0,811	14,00	0,78	14,00	6,026	15,00	61,610	14,00	3,80

Anexo 4. Análisis de suelo del horizonte A en el sitio de estudio.

		GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA PROVINCIA DEL CARCHI		
DIRECCION DE DESARROLLO ECONÓMICO LOCAL				
LABORATORIO DE AGUA Y SUELO INFORME DE RESULTADOS				
Cliente: Ricardo España Dirección: Plaza Gutierrez (La Delicia) Teléfono:	Número de Informe: 26 Fecha de Informe: 11/02/16 Recep. Laboratorio: No de muestras entregadas: 1			
1.- RESULTADOS ANALÍTICOS				
Identificación de la muestra de suelo: Horizonte A				
Parámetros	Unidad	Valor	Interpretación	Método aplicado
Materia Orgánica en el suelo	%	7.01	Alto	Walkley and Black AS-07
pH		4.92	Muy fuertemente ácido	AS-02
Salinidad	us	70	Bajo no salino	AS-17
Nitrógeno Total (% N)	%	0.43	Alto	Kjeldahl AS-25
Fósforo extraíble	ppm	20	Alto	Colorimetría AS-26
Potasio (K)	Meq/100 ml	0.24	Adecuado	Extracto de saturación por medición de absorción atómica AS-19
Calcio (Ca)	Meq/100 ml	7.67	Bajo	Extracto de saturación por medición de absorción atómica AS-19
Magnesio (Mg)	Meq/100 ml	0.52	Bajo	Extracto de saturación por medición de absorción atómica AS-19
Hierro (Fe)	ppm	202	Alto	Extracto de saturación por medición de absorción atómica AS-19
Cobre (Cu)	ppm	4.03	Adecuado	Extracto de saturación por medición de absorción atómica AS-19
Manganeso (Mn)	ppm	0.32	Bajo	Extracto de saturación por medición de absorción atómica AS-19
Zinc (Zn)	ppm	0.53	Bajo	Extracto de saturación por medición de absorción atómica AS-19
Textura	Franco - Franco Arenoso			Bouyoucos Modificado
*Parámetros del programa smart fertilizer				
2.- Responsable del Análisis: Ing. Lenin Carrera				
 Ing. Lenin Carrera				

Anexo 5. Análisis de suelo del horizonte B en el sitio de estudio.



GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA
PROVINCIA DEL CARCHI

DIRECCION DE DESARROLLO ECONÓMICO LOCAL

LABORATORIO DE AGUA Y SUELO
INFORME DE RESULTADOS

Cliente: Ricardo España	Número de Informe:	25
Dirección: Plaza Gutierrez (La Delicia)	Fecha de Informe	11/02/16
Teléfono:	Recep. Laboratorio	
	No de muestras entregadas	1

1.- RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificación de la muestra de suelo: Horizonte B				
Parámetros	Unidad	Valor	Interpretación	Método aplicado
Materia Orgánica en el suelo	%	4.8	Medio	Walkley and Black AS-07
pH		5.4	Fuertemente ácido	AS-02
Salinidad	us	63	Bajo no salino	AS-17
Nitrógeno Total (% N)	%	0.27	Alto	Kjeldahl AS-25
Fósforo extraíble	ppm	20	Alto	Colorimetría AS-26
Potasio (K)	Meq/100 ml	0.22	Adecuado	Extracto de saturación por medición de absorción atómica AS-19
Calcio (Ca)	Meq/100 ml	6.03	Bajo	Extracto de saturación por medición de absorción atómica AS-19
Magnesio (Mg)	Meq/100 ml	0.45	Bajo	Extracto de saturación por medición de absorción atómica AS-19
Hierro (Fe)	ppm	119	Alto	Extracto de saturación por medición de absorción atómica AS-19
Cobre (Cu)	ppm	2.63	Bajo	Extracto de saturación por medición de absorción atómica AS-19
Manganeso (Mn)	ppm	0.54	Bajo	Extracto de saturación por medición de absorción atómica AS-19
Zinc (Zn)	ppm	0.46	Bajo	Extracto de saturación por medición de absorción atómica AS-19
Textura		Franco Arenoso		Bouyoucos Modificado

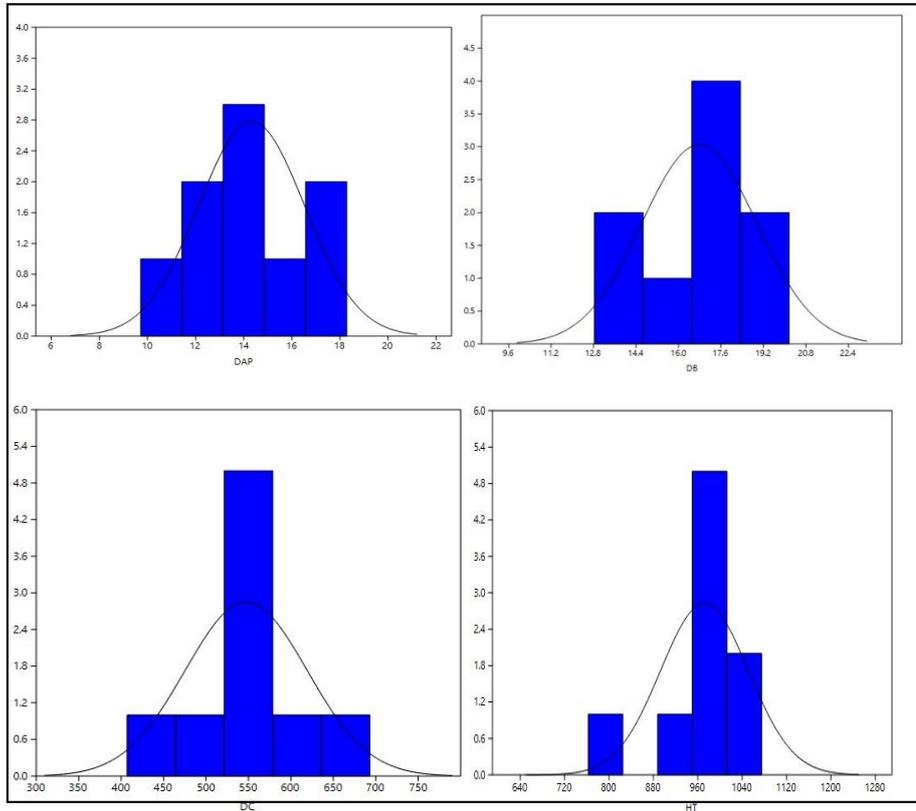
*Parámetros del programa smart fertilizer

2.- Responsable del Análisis: Ing. Lenin Carrera

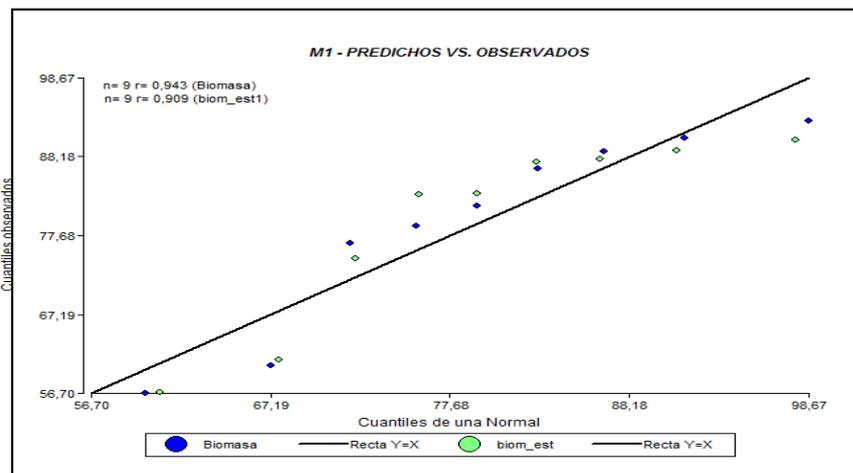

Ing. Lenin Carrera

6.2. ILUSTRACIONES

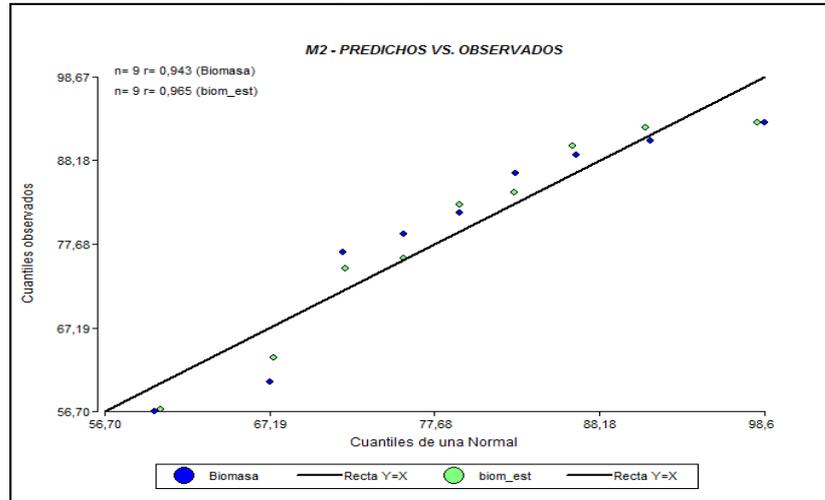
Anexo 6. Histogramas de dispersión de las variables independientes.



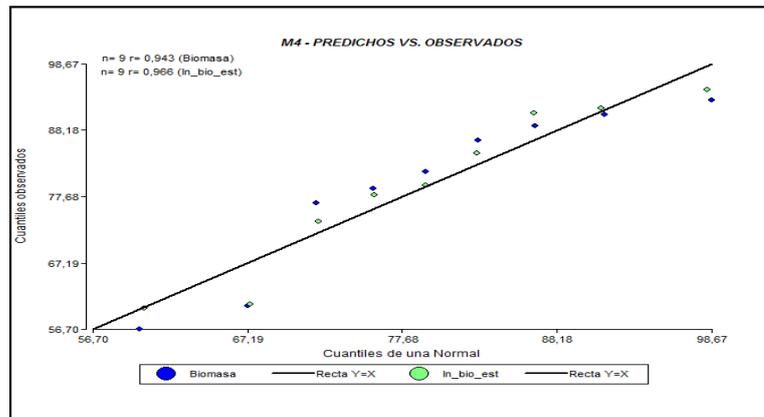
Anexo 7. Exploración gráfica de los valores predichos versus los valores observados para el modelo 1.



Anexo 8. Exploración gráfica de los valores predichos versus los valores observados para el modelo 2.



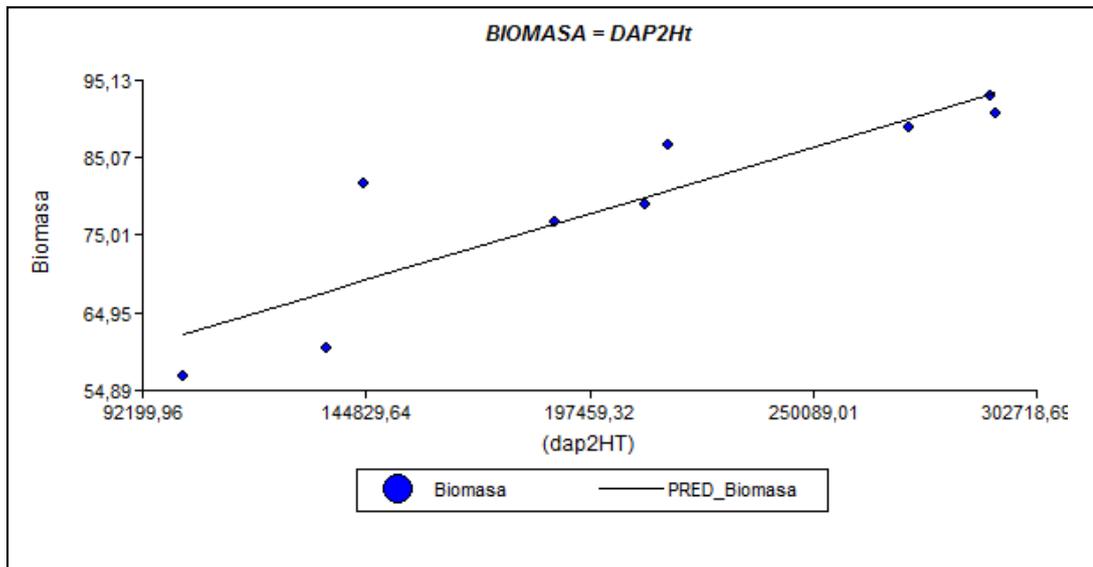
Anexo 9. Exploración gráfica de los valores predichos versus los valores observados para el modelo 4.



Anexo 10. Análisis de regresión para modelo de (Bhandari & Neupane, 2014) con los datos de esta investigación.

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC
Biomasa	9	0,79	0,76	69,40	62,64

Anexo 11. Q - Q plot del modelo de (Bhandari & Neupane, 2014) con los datos de esta investigación.



6.3. FOTOGRAFÍAS



Foto 1. Marcación de individuos a cortar.



Foto 2. Medición de longitud total.



Foto 3. Seccionamiento del fuste.



Foto 4. Colección de hojas para su pesaje.



Foto 5. Colección de ramas para su pesaje.



Foto 6. Pesaje de fuste.



Foto 7. Pesaje de hojas.



Foto 8. Pesaje de ramas.



Foto 9. Embalaje de muestras.



Foto 10. Pesaje de muestra de hojas en laboratorio.



Foto 11. Pesaje de muestra de ramas en laboratorio.



Foto 12. Pesaje de muestra de fuste en laboratorio.



Foto 13. Secado de muestras en el horno.