



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 Ingeniera Forestal**

**CONSTRUCCIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA LA
DETERMINACIÓN DE ÁREA FOLIAR EN *Alnus nepalensis* D.Don, EN LA ZONA DE
INTAG EN LOS ANDES DEL ECUADOR**

AUTOR:

Yadira Alexandra León Mena.

DIRECTOR:

Ing. Eduardo Jaime Chagna Avila, Mgs.

IBARRA – ECUADOR

2020

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

CONSTRUCCIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREA FOLIAR EN *Alnus nepalensis* D.Don, EN LA ZONA DE INTAG EN LOS ANDES 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:

INGENIERA FORESTAL

APROBADO

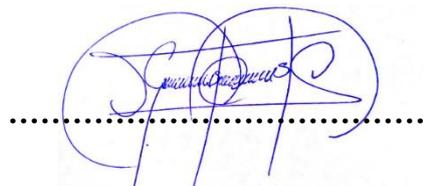
Ing. Eduardo Jaime Chagna Avila, Mgs

Director de trabajo de titulación



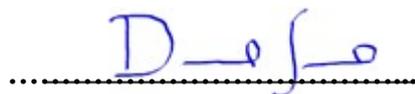
Ing. Jorge Luis Ramírez López, M.Sc.

Tribunal de trabajo de titulación



Mgs. Daniel David Sono Toledo, Ph.D.

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 IDENTIDAD: | 1004098206 | | |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | León Mena Yadira Alexandra | | |
| DIRECCIÓN: | Cahuasquí | | |
| EMAIL: | yaleonm@utn.edu.ec / leonyadira114@yahoo.es | | |
| TELÉFONO FIJO: | | TELÉFONO MÓVIL: | 0997035260 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|--------------------------------|--|
| TÍTULO: | CONSTRUCCIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREA FOLIAR EN <i>Alnus nepalensis</i> D.Don, EN LA ZONA DE INTAG EN LOS ANDES DEL ECUADOR |
| AUTOR (ES): | Yadira Alexandra León Mena |
| FECHA: | 28 de mayo de 2020 |
| SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO | |
| PROGRAMA: | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO |
| TITULO POR EL QUE OPTA: | Ingeniera Forestal |
| ASESOR /DIRECTOR: | Ing. Eduardo Jaime Chagna Avila, Mgs |

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 28 días del mes de mayo de 2020

EL AUTOR:



Yadira Alexandra León Mena

C.I.: 1004098206



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

Yo, León Mena Yadira Alexandra, con cédula de identidad Nro. 1004098206; manifiesto la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de titulación denominado **CONSTRUCCIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREA FOLIAR EN *Alnus nepalensis* D.Don, EN LA ZONA DE INTAG EN LOS ANDES DEL ECUADOR**, que ha sido desarrolla para optar por el título de Ingeniera 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.

León Mena Yadira Alexandra

C.I.: 10034098206

Ibarra, a los 28 días del mes de mayo de 2020

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA - UTN

Fecha: 28 de mayo de 2020

León Mena Yadira Alexandra: **CONSTRUCCIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREA FOLIAR EN *Alnus nepalensis* D.Don, EN LA ZONA DE INTAG EN LOS ANDES DEL ECUADOR,** /Trabajo de titulación. Ingeniera Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 28 de mayo del 2020. 63 páginas.

DIRECTOR: Ing. Eduardo Jaime Chagna Avila, Mgs.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Construir modelos alométricos para la determinación de área foliar de *Alnus Nepalensis* D.Don, en la zona de Intag. Entre los objetivos específicos se encuentra: Determinar la relación entre el área foliar y medidas lineales de la hoja de *Alnus Nepalensis* D.Don y Establecer la relación entre el área foliar y las variables dasométricas de los individuos.

Fecha: 28 de mayo de 2020



.....
Ing. Eduardo Jaime Chagna Avila, Mgs.

Director de trabajo de titulación



.....
León Mena Yadira Alexandra

Autora

DEDICATORIA

A mis padres, Arsenio León y Sandra Mena por brindarme su apoyo incondicional durante estos años de estudio, por enseñarme a no rendirme y a ser una persona responsable y a mis hermanas Abigail y Dayana por darme ánimos

AGRADECIMIENTO

A mis padres y mis hermanas por todo su apoyo y comprensión y por motivarme a seguir adelante.

A mis amigos y amigas con quienes compartimos grandes momentos en estos años de estudio, y me apoyaron en la investigación especialmente Rubén Farínango y Jonathan Guamanzara.

A mi equipo de trabajo especialmente a los Ingenieros Eduardo Chagna y Jorge Ramírez por sus conocimientos brindados y su ayuda durante la investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|-------|
| AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE | iii |
| CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE | v |
| REGISTRO BIBIOGRÁFICO..... | vi |
| DEDICATORIA | vii |
| AGRADECIMIENTO | viii |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | ix |
| ÍNDICE DE TABLAS | xii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xii |
| ÍNDICE DE ANEXOS | xiii |
| LISTA DE ABREVIATURAS | xiv |
| GLOSARIO | xv |
| RESUMEN | xvi |
| ABSTRACT..... | xviii |
| CAPÍTULO I | |
| INTRODUCCIÓN | 20 |
| 1.1. OBJETIVOS..... | 21 |
| 1.1.1. General..... | 21 |

| | |
|---|----|
| 1.1.2. Específicos | 21 |
| 1.2. HIPÓTESIS | 21 |
| CAPITULO II | |
| MARCO TEÓRICO..... | 22 |
| 2.1. FUNDAMENTACIÓN LEGAL | 22 |
| 2.1.1. Constitución de la República del Ecuador 2008..... | 22 |
| 2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA..... | 24 |
| 2.2.1. Área foliar | 24 |
| 2.2.2. Determinación del área foliar | 25 |
| 2.2.3. La hoja | 25 |
| 2.2.4. Medidores de área foliar | 27 |
| 2.2.5. Aliso (<i>Alnus nepalensis</i> D.Don.) | 27 |
| 2.2.6. Modelos alométricos..... | 29 |
| 2.2.7. Modelo de regresión lineal | 30 |
| 2.2.8. Selección del modelo de mejor ajuste..... | 30 |
| 2.2.9. Plantaciones forestales | 30 |
| 2.2.10. Sistemas agroforestales..... | 31 |
| 2.2.11. Clasificación de los sistemas agroforestales | 31 |
| 2.2.12. Formas de plantación de <i>Alnus nepalensis</i> en la zona de Intag | 32 |
| 2.2.13. Variables dasométricas | 32 |

CAPÍTULO III

| | |
|---|----|
| METODOLOGÍA | 34 |
| 3.1. Descripción del sitio de estudio | 34 |
| 3.2. Materiales, equipos e insumos | 35 |
| 3.3. Metodología | 36 |
| 3.3.1. Tamaño de la muestra | 36 |
| 3.3.2. Determinar la relación entre el área foliar y medidas lineales de la hoja de <i>Alnus nepalensis</i> | 37 |
| 3.3.3. Establecer la relación entre el área foliar y las variables dasométricas de los individuos. 39 | |

CAPÍTULO IV

| | |
|--|----|
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 43 |
| 4.1. Selección de arboles | 43 |
| 4.2. Medidas lineales y área foliar de la hoja | 45 |
| 4.3. Modelos alométricos | 47 |
| 4.4. Selección del mejor modelo | 47 |
| 4.4.1. Área foliar por hoja..... | 47 |
| 4.4.2. Área foliar por árbol | 49 |

CAPÍTULO V

| | |
|--------------------------------------|----|
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 52 |
|--------------------------------------|----|

| | |
|---------------------------------|----|
| 5.1. Conclusiones | 52 |
| 5.2. Recomendaciones..... | 52 |
| CAPÍTULO VI | |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 54 |
| CAPÍTULO VII | |
| ANEXOS | 59 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Materiales, equipos e insumos..... | 35 |
| Tabla 2. Estadística descriptiva de variables dasométricas de los arboles y área foliar | 44 |
| Tabla 3. Estadística descriptiva de parámetros foliares y área foliar | 46 |
| Tabla 4. Modelos alométricos de área foliar por hoja | 47 |
| Tabla 5. Modelos alométricos de sistema agroforestal y plantación pura..... | 49 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Partes de la hoja | 26 |
| Figura 2. Mapa base del sitio de estudio | 35 |
| Figura 3. Medidas promedio de largo y ancho de la hoja | 45 |
| Figura 4. Exploración gráfica para el modelo 1 de área foliar por hoja | 48 |

Figura 5. Exploración gráfica para el modelo 1 de sistema agroforestal51

Figura 6. Exploración gráfica para el modelo 1 de plantación pura.....51

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Hoja de campo59

Anexo 2. Matriz de toma de datos de laboratorio.60

Anexo 3. Fase de campo61

Anexo 4. Fase de campo61

Anexo 5. Fase de laboratorio.....62

Anexo 6. Fase de laboratorio.....62

Anexo 7. Fase de laboratorio.....63

Anexo 8. Fase de laboratorio.....63

LISTA DE ABREVIATURAS

AF: Área foliar

Ah: Ancho de la hoja

Dap: Diámetro a la altura del pecho

Db: Diámetro basal

Dc: Diámetro de copa

Hc: Altura comercial

Ht: Altura total

Lh: Largo de la hoja

m.s.n.m: Metros sobre el nivel del mar

PRESS: suma de cuadrados de los residuos de los predichos

R^2 ajustado: Coeficiente de determinación ajustado

R^2 : Coeficiente de determinación

RCME: Raíz cuadrada media del error

SCR: Suma del cuadrado de los residuos

GLOSARIO

Altura comercial: Distancia vertical tomada desde el suelo hasta la última posición terminal utilizable.

Altura total: Distancia vertical tomada desde el suelo hasta el ápice del árbol.

Área foliar: Es la cantidad de superficie que posee la hoja de una planta

Bosquetes: Unidad de tierra con el propósito de producción de leña y carbón vegetal.

Desviación estándar: Representa el desplazamiento de la media a sus límites inferior y superior.

Diámetro basal: Medida del diámetro del fuste en la base del árbol.

Diámetro de copa: Es la medida del diámetro de la proyección de la copa sobre el suelo.

Huerto casero: Combinación de árboles altos con arbustos medianos y con cultivos anuales, produciendo diferentes alimentos.

LI-COR 3100C: Medidor de área foliar en laboratorio, permite obtener la superficie de la lámina foliar en cm^2 .

Linderos: Línea de árboles maderables, su función es delimitar un predio.

Modelos alométricos: Son ecuaciones que permiten estimar el crecimiento de una parte del individuo en relación al individuo completo o parte de él.

Sistema agroforestal: Unidad de tierra donde se combinan elementos agrícolas y forestales

Varianza: Es una medida de tendencia central que determina el grado de variabilidad de un grupo de observaciones.

Estomas: Abertura microscópica del tejido epidérmico de los vegetales, especialmente de las hojas.

Sistema vascular: Tejido de las plantas que distribuye agua y nutrientes.

TÍTULO: “CONSTRUCCIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREA FOLIAR EN *Alnus nepalensis* D.Don, EN LA ZONA DE INTAG EN LOS ANDES DEL ECUADOR”

Autor: Yadira Alexandra León Mena

Director de trabajo de titulación: Ing. Eduardo Jaime Chagna Avila, Mgs

Año: 2020

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo construir modelos alométricos para la determinación de área foliar en *Alnus Nepalensis* D.Don. El estudio se desarrolló en dos fases, la primera fue de campo en el sector la Delicia, parroquia Plaza Gutiérrez y en el sector La Loma, parroquia Cuellaje, cantón Cotacachi, donde se eligió para el análisis nueve árboles en sistema agroforestal y diez árboles en plantación pura; y la segunda fue de laboratorio que se realizó en el Centro de Investigación de la Granja Experimental La Pradera de la Universidad Técnica del Norte.

De los árboles seleccionados se midió el diámetro a la altura del pecho, diámetro basal, diámetro de copa, altura total y altura comercial como variables independientes del modelo, se contabilizó el número de hojas de una rama promedio y se contó el número de ramas del árbol, con la finalidad de obtener el número total de hojas del árbol. Se tomó 100 hojas de cada individuo de diferente parte de la copa y de tamaño variado. Se determinó el área foliar de cada hoja utilizando el medidor de área foliar de tipo Li-Cor 3100C, como variable dependiente de los modelos. Se midió el largo y ancho de cada hoja como variables independientes del modelo de área foliar por hoja.

El modelo con mejor ajuste para área foliar por hoja es $AF = 1,02 + 0,12 Lh^2 + 0,80 Ah^2$ con un R^2 de 0,99 para sistema agroforestal $AF = 2162,83 + 6609,30 Db^2 - 10492,40 Dap +$

$2,47 (DbHt)^2 + 5,06 (DapHc)^2$ con un R^2 de 0,99 y para plantación pura es $AF = -118,53 + 1317,84 Db - 62,90 (Db^2Dc)^2 - 5,51 Hc$ con un R^2 de 0,99 por lo que los modelos tienen un alto grado de ajuste. Las medidas largo y ancho de la hoja tienen una relación lineal positiva con el área foliar de la hoja y del árbol.

Palabras clave: Plantación, sistema agroforestal, modelos alométricos.

TITLE: “CONSTRUCTION OF ALLOMETRIC MODELS FOR THE DETERMINATION OF LEAF AREA IN *Alnus nepalensis* D. Don, IN THE INTAG ZONE IN THE ANDES OF ECUADOR”

Author: Yadira Alexandra León Mena

Director of thesis: Ing. Eduardo Jaime Chagna Avila, Mgs

Year: 2020

ABSTRACT

The present investigation was carried out with the objective of constructing allometric models for the determination of foliar area in *Alnus Nepalensis* D. Don. The study was carried out in two phases, the first was field that was carried out in the La Delicia sector, Plaza Gutiérrez parish and in the La Loma sector, Cuellaje parish, in the Cotacachi canton. Nine trees in agroforestry system and ten trees in pure plantation were chosen for analysis. The second was a laboratory that was carried out at the Research Center of the La Pradera Experimental Farm of the Universidad Técnica del Norte. From the selected trees, the diameter at chest height, basal diameter, canopy diameter, total height and commercial height were measured as independent variables of the model, the number of leaves of an average branch was counted and the number of branches of the tree, in order to obtain the total number of leaves of the tree. 100 leaves of each individual were taken from different parts of the cup and of varied size. The leaf area of each leaf was determined using the Li-Cor 3100C type leaf area meter, as a model dependent variable. The length and width of each sheet were measured as independent variables of the leaf area model per sheet. The model with the best fit for leaf area per leaf is $AF = 1.02 + 0.12 Lh^2 + 0.80 Ah^2$ with an R^2 of 0.99 for agroforestry system $AF = 2162.83 + 6609.30 Db^2 - 10492.40 Dap + 2.47 (DbHt)^2 + 5.06 (DapHc)^2$ with an R^2 of 0.99 and for pure

planting is $AF = -118.53 + 1317.84 Db - 62.90 (Db2Dc)^2 - 5.51 Hc$ with an R^2 of 0.99 so the models have a high degree of adjustment.

The length and width measurements of the leaf have a positive linear relationship with the leaf area of the leaf and the tree

Keywords: Plantation, agroforestry system, allometric models.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la zona de Intag en 1995 se introdujo la especie *Alnus nepalensis* D. Don. despertando interés en los pobladores, organizaciones locales, por la adaptación al sitio (Añazco y Vallejos, 2018). Se difundió rápidamente por los pobladores y se establecieron plantaciones, sistemas agroforestales, linderos, bosquetes entre otros. Años después se propagó la especie mediante conocimientos empíricos, formando parte de la economía de los pobladores (Cevallos, 2017).

En la zona se han realizado investigaciones sobre la interacción de esta especie con pastos y cultivos, estudios de biomasa aérea y carbono. Sin embargo, no existe información sobre área foliar (AF), aspecto de gran importancia para el manejo de plantaciones (Muñoz, 2005).

El Área Foliar es la cantidad de superficie que posee la hoja de una planta (Roberti, Bas Nahas, y Romero, 2014). El cálculo de área foliar permite determinar la eficiencia fotosintética que posee la planta, así como la estimación del crecimiento de la misma (Muñoz, 2005). Además, es fundamental para realizar estudios en fisiología vegetal, dendrología, silvicultura y agricultura (Rincón, Olarte, y Pérez, 2012).

En el estudio se elaboró ecuaciones alométricas entre el área foliar de *Alnus nepalensis*, con dimensiones de fácil medición: diámetro, altura y el diámetro de copa. La información obtenida contribuirá a estudios forestales futuros en el manejo de la especie.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. General

- Construir modelos alométricos para la determinación de área foliar de *Alnus Nepalensis* D.Don, en la zona de Intag.

1.1.2. Específicos

- Determinar la relación entre el área foliar y medidas lineales de la hoja de *Alnus Nepalensis* D.Don.
- Establecer la relación entre el área foliar y las variables dasométricas de los individuos.

1.2. HIPÓTESIS

- **Ho:** Ninguno de los modelos alométricos muestra un ajuste adecuado para determinar el área foliar en *Alnus Nepalensis* D.Don.
- **Ha:** Por lo menos uno de los modelos alométricos muestra un ajuste adecuado para determinar el área foliar en *Alnus Nepalensis* D.Don.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. FUNDAMENTACIÓN LEGAL

2.1.1. Constitución de la República del Ecuador 2008

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

2.1.2. Plan Nacional de Desarrollo toda una vida 2017 – 2021

El presente estudio se enmarca en el objetivo, políticas y lineamientos estratégicos siguientes:

Eje 1: Derechos para Todos Durante Toda la Vida

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

Política y lineamiento estratégico 3.3. 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 y lineamiento estratégico 3.4. Impulsar la economía urbana y rural, basada en el uso sostenible y agregado de valor de recursos renovables y la bio-economía, propiciando la corresponsabilidad social.

2.1.3. Código orgánico del ambiente

En el Título VI Régimen Forestal Nacional, Capítulo VI. Restauración Ecológica, Plantaciones Forestales Y Sistemas Agroforestales, Art. 122. Prohibiciones para el establecimiento de plantaciones forestales, menciona que en ningún caso las plantaciones forestales con fines de conservación y producción afectarán o reemplazarán las áreas cubiertas con bosques naturales, vegetación nativa y arbustiva, ecosistemas frágiles, servidumbres ecológicas o zonas de protección permanente de agua, áreas bajo un esquema de incentivos para la conservación y áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

Solo se podrán establecer plantaciones forestales en las tierras asignadas a ese fin por los planes de ordenamiento territorial y las directrices que emitan las autoridades con competencia en la materia.

Art. 123.- Régimen de las plantaciones forestales productivas. Las plantaciones forestales productivas orientarán sus actos de la siguiente forma:

1. Deberán obtener las guías de circulación para el transporte de sus productos, con el objeto de distinguirlos de los productos provenientes de bosques naturales y con fines de registro estadístico nacional;

2. El vuelo forestal de las plantaciones, entendido como el total de la cobertura arbórea, constituirá derecho real gravable y asegurable en forma independiente del suelo que las sustenta;

3. El valor material de las plantaciones podrá ser representado en título valor, en función de los flujos futuros de caja traídos al valor presente del mercado; y,

4. Las demás que establezca la Autoridad Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.

2.1.2. Línea de investigación

El estudio se enmarca en la línea de investigación de la Universidad: desarrollo agropecuario y forestal sostenible.

2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1. Área foliar

Es la cantidad de superficie que posee la hoja de una planta (Roberti, Bas Nahas, y Romero, 2014). El cálculo de área foliar es de gran importancia ya que permite determinar la eficiencia fotosintética que posee la planta, así como la estimación de su crecimiento (Muñoz, 2005).

El tamaño de las hojas o área foliar es un rasgo que tiene gran variación entre géneros, especie, individuos y hasta en el mismo individuo. Sin embargo, este indicador permite comprender la capacidad que tienen las plantas para interceptar luz, intercambio de gases y vapor de agua, reducción del estrés calórico (Álvarez, Álvarez, Cano, y Suescún, 2012).

La productividad de una planta depende de la actividad de la superficie foliar, es decir, de la interceptación de energía lumínica, la misma que por el pigmento fotorreceptor de las hojas es convertida a energía química, por lo que la mejor medida de la producción de la planta es el área foliar (Valencia, s.f.).

Las mediciones de área foliar son fundamentales para realizar estudios en fisiología vegetal, dendrología, silvicultura y agricultura. Está asociada en diferentes procesos los mismos que abarcan crecimiento, transpiración, fotosíntesis, interceptación de luz (Rincón, Olarte, y Pérez, 2012).

Según Kucharik, citado por Cabezas, Peña, Duarte, y Colorado (2009), los fisiólogos, biólogos y agrónomos, demostraron que el área foliar es de gran importancia para estimar el

crecimiento de los árboles y plantas, para la determinación de su fenología, y para la estimación de la producción.

2.2.2. Determinación del área foliar

El área foliar se puede obtener mediante métodos destructivos y no destructivos. Medir el área foliar de un elevado número de hojas manualmente puede ser muy costoso y tomar mucho tiempo (Cabezas, Peña, Duarte, y Colorado, 2009).

2.2.2.1. Método no destructivo

En este método es denominado no destructivo debido a que no es necesario apear el árbol para obtener el área foliar. Se lo hace utilizando un medidor de área foliar de campo, que mide el área foliar sobre y bajo el dosel (Cabezas, Peña, Duarte, y Colorado, 2009).

Los métodos no destructivos al utilizar un escáner portable son precisos solo para plantas con pocas hojas. Por lo tanto, no son recomendables para mediciones de área foliar en árboles (Montoya, Hernández, Unigarro, y Flórez, 2017).

2.2.2.2. Método destructivo

Es el método más preciso ya que se realiza la tumba de una muestra representativa de árboles. Se toma directamente las medidas mediante un muestreo destructivo de ramas (Cabezas, Peña, Duarte, y Colorado, 2009).

El desprendimiento de las hojas es necesario para que sean medidas, ya sea tradicionalmente como la copia de la hoja en papel milimetrado o mediante medidores de área foliar de laboratorio (Montoya, Hernández, Unigarro, y Flórez, 2017).

2.2.3. La hoja

La hoja es un apéndice lateral y aplanado del tallo. Las hojas se originan de los primordios foliares de las yemas. Cumplen funciones para la planta como: realizar la fotosíntesis, transpiración e intercambio gaseoso (Jiménez, 2010).

- Fotosíntesis: proceso que mediante la energía lumínica del sol se transforma la materia inorgánica en materia orgánica.
- Transpiración: desprenden vapor de agua a través de los estomas.
- Intercambio gaseoso: mediante los estomas entra el oxígeno para la respiración celular y se libera anhídrido carbónico.

2.2.3.1. Morfología de la hoja

En la hoja se diferencian las siguientes partes:

- Limbo: Parte plana y extendida de la hoja. Consta de tres partes, base, bordes y ápice.
- Haz: Parte superior de la hoja.
- Envés: parte inferior de la hoja, en el envés son abundantes los estomas.
- Pecíolo: pequeño tallo que sostiene la hoja, conecta el limbo foliar y tallo.
- Vaina: base algo ensanchada de la hoja que abraza al tallo.
- Nervaduras: nervios que componen el sistema vascular de la hoja.

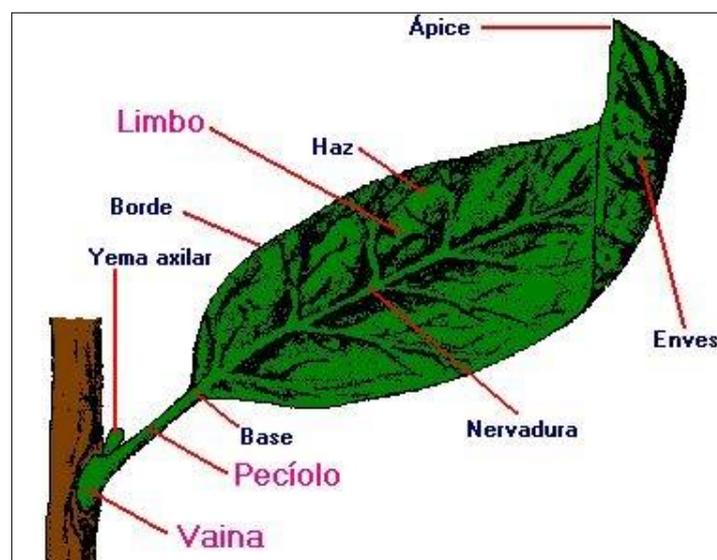


Figura 1. Partes de la hoja

Fuente: (Jiménez, 2010)

2.2.4. Medidores de área foliar

Los medidores de área foliar dan medidas precisas y confiables, y con aplicaciones en campo y en laboratorio.

2.2.4.1. LI-3100 C

Es un medidor de área foliar de laboratorio hace mediciones rápidas y precisas de hojas grandes y pequeñas desprendidas. Las muestras deben ser colocadas entre las guías fijas de la banda transportadora inferior, mientras la muestra pasa bajo la fuente de luz fluorescente, un sistema de tres espejos refleja la sombra proyectada hacia una cámara dentro de la carcasa trasera. El área en cm² se muestra en la pantalla LED (LI-COR, 2019).

2.2.4.2. LI-3000 C

Está conformado de una consola de lectura fácil combinada con la tecnología de un cabezal de escaneo. Realiza mediciones de área foliar no destructivas, además brinda mediciones de largo y ancho promedio de la hoja. Las medidas de la hoja se registran en la consola a medida que se va pasando el cabezal de escaneo sobre la hoja (LI-COR, 2019).

2.2.4.3. LAI-2200 C

Es un analizador del dosel vegetal que utiliza un método no destructivo para hacer mediciones de índice de área foliar (LI-COR, 2019).

2.2.5. Aliso (*Alnus nepalensis* D.Don.)

2.2.5.1. Descripción taxonómica

| | |
|------------------|---------------|
| Reino: | Plantae |
| Subreino: | Tracheobionta |
| División: | Magnoliophyta |
| Clase: | Magnoliopsida |
| Subclase: | Hámamelidae |
| Orden: | Fagales |

| | |
|----------------------|--|
| Familia: | BETULACEAE |
| Género: | <i>Alnus</i> |
| Subgénero: | <i>Alnus</i> |
| Especie: | <i>Alnus nepalensis</i> D. Don |
| Nombre común: | Aliso de nepal, aliso, nombre comercial (aliso). |

2.2.5.2. Descripción botánica

La descripción botánica de la especie se tomó de Duke, citado por Imbaquingo y Naranjo (2010).

Es una de 35 especies del género *Alnus* en todo el mundo, especie fijadora de nitrógeno al suelo, ya que pertenece a la familia Betulaceae; árbol caducifolio o semidecíduo, con un fuste recto que puede alcanzar hasta 30 m de altura y 60 cm de diámetro a la altura del pecho (Dap). La corteza es verde grisáceo, presenta manchas amarillentas, y es lenticelada, las hojas son alternas, elípticas, enteras, con una dimensión de 6 - 20 cm de largo y de 5 - 10 cm de ancho, con 12 a 16 pares de nervios laterales, el haz de la hoja es brillante de color verde oscuro, la parte inferior o envés es pálido. Las flores están distribuidas 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 más cortos, erectos y leñosos, y se producen en la ramificación lateral de las ramitas. Los frutos son similares a conos de pinos, son de color marrón oscuro, se encuentran en posición vertical sobre tallos cortos, son de consistencia leñosa y las semillas: son de color marrón claro, circular y plana, con dos grandes alas membranosas.

2.2.5.3. Ecología

Se desarrolla entre 500 - 3000 m.s.n.m., se encuentra de forma natural en bosque húmedo, fresco o climas de monzón subtropical de montaña, con un promedio de precipitación anual de 500 - 2500 mm. (Imbaquingo y Naranjo, 2010).

Los suelos tienden a ser húmedo y bien drenados. Crece en sitios húmedos, cerca de los ríos y barrancos. Es una especie pionera crece bien a plena luz, aunque puede tolerar sombra. No requiere alta fertilidad de los suelos, pero prefiere suelos permeables y no debe ser plantada en suelos erosionados o compactados (Imbaquingo y Naranjo, 2010).

2.2.6. Modelos alométricos

Los modelos alométricos permiten estimar el crecimiento de una parte del individuo en relación al individuo completo o parte de él (Delgado, Acevedo, Castellanos, Ramírez, y Serrano, 2005). Los modelos alométricos son ecuaciones matemáticas que en función de variables de fácil medición como son: diámetro a la altura del pecho, diámetro basal, altura total y comercial, permiten obtener el volumen, biomasa, carbono, área foliar, de árboles, arbustos y palmas (Andrade y Segura, 2008).

Según Andrade y Segura (2008) para la construcción de un modelo alométrico se sigue el siguiente procedimiento:

- Definición de ecosistema forestal y especie
- Determinación el tamaño de la muestra
- Selección de individuos a muestrear
- Medición
- Corte y estimación ya sea de volumen, biomasa, carbono, área foliar, por árbol
- Selección de modelos de mejor ajuste.

Para facilitar el desarrollo de ecuaciones alométricas Picard, Laurent y Matieu (2012), proponen una metodología que consta de siete etapas:

- Selección de las variables a considerar y del área de validez del modelo
- Diseño del plan de muestreo y selección de árboles a medir
- Preparación y ejecución de la campaña de medición en campo y en laboratorio
- Entrada de datos

- Exploración gráfica de los datos
- Ajuste de la ecuación alométrica a partir de los datos
- Predicción y validación de modelos

2.2.7. Modelo de regresión lineal

Un modelo de regresión tiene como fin explicar la relación existente entre una variable dependiente y un grupo de variables independientes (Carollo, 2012).

El modelo de regresión lineal es el más usado para predecir los valores de una variable cuantitativa a partir de los valores de otra variable explicativa también cuantitativa. Utilizado para aproximar la relación de dependencia entre una variable dependiente, las variables independientes y un término aleatorio (Molina, 2009).

2.2.7.1. Modelo de regresión lineal múltiple

Es una extensión del modelo de regresión lineal simple, radica en considerar más de una variable regresora. Los modelos de regresión múltiple estudian la relación entre una variable dependiente y un grupo de variables independientes o regresoras (Montero, 2016)

2.2.8. Selección del modelo de mejor ajuste

Para seleccionar el modelo de mejor ajuste para los datos se compara cada ecuación con diferentes estadígrafos, los mismos que muestran el grado de error que posee cada una, los más utilizados son:

El coeficiente de determinación, el coeficiente de determinación ajustado, coeficiente de Mallows, la suma de los cuadrados de los residuos y predichos, entre otros (Andrade y Segura, 2008).

2.2.9. Plantaciones forestales

Una plantación forestal como un bosque establecido ya sea por plantación o siembra, por forestación o reforestación, con el propósito de conservarla o de aprovecharla, cumple con los

requisitos superficie mínima de 5 has, cubierta de copa por lo menos del 10% de la cubierta de la tierra, altura de los árboles superior a los 5 metros (FAO, 2001).

2.2.10. Sistemas agroforestales

Es un sistema usado desde la antigüedad donde se combinan elementos agrícolas y forestales, su objetivo es optimizar el beneficio de la interacción de los componentes boscosos con el componente cultivo o animales (Farrel y Altieri, 2014).

Los sistemas agroforestales abarcan una serie de tecnologías y sistemas para el uso de tierra en la cual se combinan árboles, cultivos agrícolas y pastos, con el propósito de optimizar la producción (Iglesias, 1999).

Los sistemas agroforestales constituyen asociaciones diversas en las que interactúan biológicamente al menos dos tipos de plantas, un componente leñoso perenne y animales (Ramírez, s.f.).

2.2.11. Clasificación de los sistemas agroforestales

Se puede utilizar varios criterios para la clasificación de los sistemas agroforestales, el más utilizado es la estructura del sistema (Farrel y Altieri, 2014).

a. Sistema agrosilvícola

Producción de cultivos agrícolas y cultivos boscosos en la misma unidad de tierra.

b. Sistema silvopastoril

Sistema de manejo de tierra en la que los árboles se manejan para producción de alimentos, madera o forraje y también para la crianza de animales.

c. Sistema agrosilvopastoril

La tierra es manejada para la producción de cultivos agrícolas, forestales y para la crianza de animales.

2.2.12. Formas de plantación de *Alnus nepalensis* en la zona de Intag

En la zona de Intag existen diferentes formas de plantación de *Alnus Nepalensis* en sistemas agroforestales y plantaciones. En sistema silvopastoril se encuentra la práctica de pastura en callejones; en sistema agrosilvícola se encuentran, cercas vivas, cortinas rompevientos, linderos maderables, árboles con cultivos perennes; y en sistema agrosilvopastoril, se encuentran huertos caseros y bosquetes. Dentro de plantaciones forestales se encuentra la práctica de plantaciones puras (Cevallos, 2017).

2.2.13. Variables dasométricas

Las principales variables dasométricas medidas en campo son las siguientes:

- **Diámetro a la altura del pecho**

El diámetro a la altura del pecho es la medida más usual de un árbol, abreviado Dap, esta medida muestra el diámetro que tiene el fuste del árbol a una altura de 1,30 m del nivel del suelo, dependiendo del terreno y su inclinación esta medida debe ser tomada desde la parte más alta del terreno (Ugalde, 1981).

El Dap se puede obtener midiendo la circunferencia a la altura del pecho en lugar del diámetro (Cancino, 2012).

- **Diámetro basal**

El diámetro basal (Db) muestra la medida del diámetro del fuste en la base del árbol (Imaña-Encinas, 1998).

- **Diámetro de copa**

Es la medida del diámetro de la proyección de la copa sobre el suelo, por lo general la proyección no es circular, por lo que se debe tomar dos medidas en forma de cruz y promediarlas (Ugalde, 1981).

- **Altura**

La altura es un parámetro necesario para la estimación de volumen, crecimiento del árbol de forma individual (Ugalde, 1981).

Es la longitud de la línea recta que inicia desde el suelo o la base del fuste hasta alguna posición en el árbol (Cancino, 2012).

- a. Altura total**

Distancia vertical tomada desde el suelo hasta el ápice del árbol.

- b. Altura comercial**

Distancia vertical tomada desde el suelo hasta la última posición terminal utilizable, definida por el diámetro mínimo, ramas y defectos, es decir, es la parte del fuste que se va a utilizar para la venta.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Descripción del sitio de estudio

a. Fase de campo

El estudio se realizó en la provincia de Imbabura, cantón Cotacachi, parroquia Plaza Gutiérrez, sector La Delicia, ubicada a 0°21'46,8'' latitud N y 78°27'24,8'' longitud W y en la parroquia Cuellaje, sector La Loma, ubicada a 0°23'21,6'' latitud N y 78°31'50,5'' longitud W (Figura 2).

En la parroquia Plaza Gutiérrez registra una precipitación promedio anual de 1393.2 mm y una temperatura de 12°C a 15°C, humedad relativa 70% - 80%. En la parroquia de Cuellaje presenta una precipitación promedio 1500-3000 mm y una temperatura de 10°C a 20°C, humedad relativa 85% (INAMHI, 2017).

b. Fase de laboratorio

Las muestras de hojas fueron medidas en el Centro de Investigación de la Granja Experimental La Pradera de la Universidad Técnica del Norte, situada en la provincia de Imbabura, cantón Antonio Ante, parroquia San José de Chaltura, ubicada a 0°23'39,30'' latitud N y 81°5'28,68'' longitud W. Se registra una temperatura media anual de 17.1° C, una precipitación promedio de 582 mm, humedad relativa de 68,9% y altitud de 2350 msnm (Maigua, 2014).

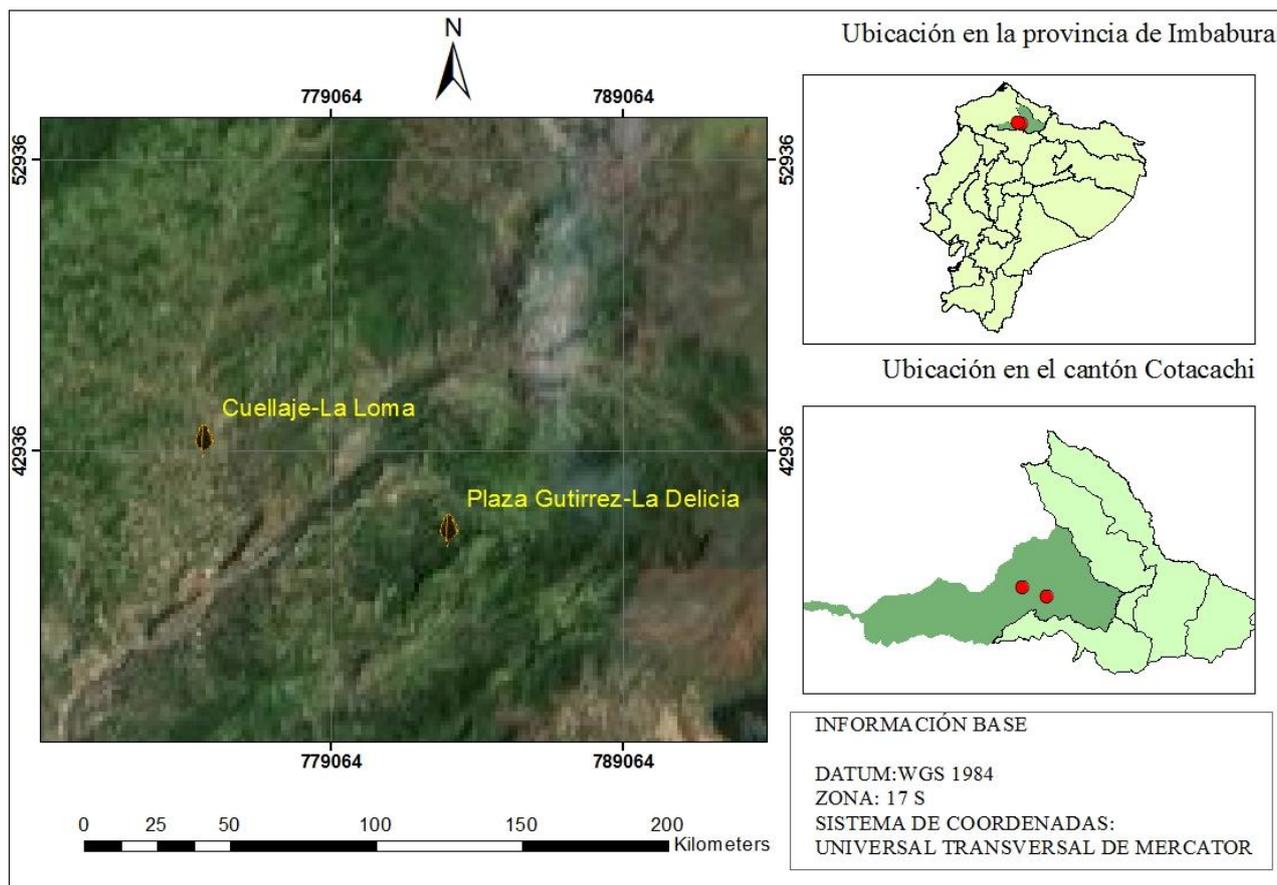


Figura 2: Mapa base del sitio de estudio
 Fuente: La Autora

3.2. Materiales, equipos e insumos

En la Tabla 1 se menciona los materiales, equipos e insumos que se utilizó en la investigación.

Tabla 1
 Materiales, equipos e insumos

| Materiales | Equipos | Insumos |
|----------------------------|--------------------|------------------------------|
| Hojas de campo | GPS | Paquete tecnológico (Office) |
| Apoya manos | Cámara fotográfica | InfoStat versión 2015. |
| Fundas plásticas | Clinómetro Sunnto | |
| Machete | LI-COR 3100C | |
| Cinta métrica y diamétrica | Computador. | |
| Material de escritorio | | |

3.3. Metodología

3.3.1. Tamaño de la muestra

Se seleccionó dos formaciones forestales, un sistema agroforestal y una plantación pura ubicadas en el sector La Loma y el Sector La Delicia respectivamente. El sistema agroforestal de dos hectáreas y de 25 años de edad aproximadamente, conformado por huertos caseros, árboles en lindero y silvopastura. La plantación pura de siete años, sin manejo, con una superficie de dos hectáreas instalada a un distanciamiento de 3 x 4m.

En cada una de las formaciones forestales se realizó un muestreo preliminar en el que se seleccionó 10 árboles al azar y se determinó los estimadores estadísticos: media, varianza, desviación estándar y error estándar de la media. Posteriormente con estos valores se determinó el tamaño de la muestra usando la ecuación 1 (Ec. 1).

$$n = \frac{t_{\alpha=0,05}^2 * S^2}{E^2} \quad \text{Ec.1}$$

Tamaño de la muestra

Fuente: Aguirre y Vizcaino (2010)

Dónde:

n = número de individuos a muestrear

t = Valor tabular distribución t de Student con una significancia del 95%.

E = Error

Para determinar el error se usó la ecuación 2 (Ec.2) que se muestra a continuación:

$$E = S\bar{x} * t_{\alpha=0.05} \quad \text{Ec.2}$$

Error

Fuente: Aguirre y Vizcaino (2010)

Dónde:

E = Error.

t = Valor tabular distribución t de Student con una significancia del 95%.

$S\bar{x}$ = Error estándar de la media.

Finalmente se corrigió el tamaño de la muestra usando la ecuación 3 (Ec.3).

$$n_2 = \frac{n_1}{1 + \frac{n_1}{N}} \quad \text{Ec.3}$$

Tamaño de la muestra ajustada

Fuente: Aguirre y Vizcaino (2010)

Dónde:

n_2 = Tamaño de la muestra corregido

n_1 = Tamaño de la muestra (Ec.2)

N = Número de individuos total

3.3.2. **Determinar la relación entre el área foliar y medidas lineales de la hoja de *Alnus nepalensis*.**

En la investigación se adaptó la metodología utilizada por Mendoza, citada por Cabezas, Peña, Duarte, y Colorado, (2009).

3.3.2.1. ***Selección de los árboles***

En el sistema agroforestal y en la plantación pura los árboles fueron seleccionados al azar considerando la facilidad de recolección de las hojas y el buen estado de las mismas, es decir que estén completas y no tengan agujeros provocados por insectos, para que no afecte la medición de área foliar en laboratorio.

3.3.2.2. ***Recolección de material vegetativo***

De cada individuo seleccionado en el sistema agroforestal y en la plantación se tomó 100 hojas de tamaño variado, el 30% de la parte baja, el 30% de la parte media y el 40% de la parte alta de la copa.

El material vegetativo recolectado de cada árbol, fue colocado en bolsas plásticas, y luego se codificó a cada hoja con un número para su identificación y se realizó el montaje de las hojas en papel periódico, con la finalidad de que se mantengan planas para tomar mediciones

precisas, para ello, fueron trasladadas al Centro de Investigación de la Granja Experimental La Pradera de la Universidad Técnica del Norte.

3.3.2.3. Medida de parámetros foliares

En el laboratorio se midió el largo, ancho y área foliar de cada hoja:

- Largo: mediante dimensión directa, utilizando una regla, se tomó la longitud de la hoja sin peciolo, desde la base de la hoja hasta su ápice.
- Ancho: de la misma manera mediante medición directa y con el uso de una regla se tomó la medida del ancho de la hoja en su parte más amplia.
- Área foliar: el área foliar de cada hoja se obtuvo mediante un medidor de área foliar de laboratorio de tipo LI-COR (Li-Cor 3100C), el mismo que da la medida del área foliar de la hoja en cm^2 .

3.3.2.4. Modelos alométricos de área foliar por hoja

La metodología que se utilizó es una adaptación de la propuesta por Andrade y Segura, (2008), misma que se detalla a continuación.

Se organizó la información de los parámetros foliares de cada individuo en una matriz, en la misma fila los datos de las variables independientes, como son: largo de la lámina foliar (Lh), ancho máximo de la lámina foliar (Ah), el producto del largo por el ancho (LhxAh), de la misma manera la variable dependiente que es el área foliar de la hoja.

Se graficó el área foliar que es la variable dependiente contra cada variable independiente con la finalidad de observar la tendencia de los gráficos y definir qué modelo de regresión utilizar.

Se procedió a realizar los respectivos análisis de regresión lineal, con las variables independientes con respecto a la variable dependiente, para ello se utilizó el software InfoStat versión 2015.

3.3.2.5. Área foliar total de la copa de los árboles

Para determinar el área foliar total de la copa del árbol, se utilizó una adaptación de la metodología utilizada por Muñoz, (2005).

Se tomó una rama promedio del árbol y se contó el número total de hojas, posteriormente se contabilizó el número de ramas total del árbol, con el fin de extrapolar el número de hojas de una rama a toda la copa del árbol y obtener el número de hojas total del individuo.

El área foliar total de la copa del árbol, corresponde al producto de la sumatoria de áreas foliares de las 100 hojas de la muestra de cada árbol y el número total de hojas de la copa del árbol, dividido para el número de hojas de la muestra (Ec.4)

$$AF = \frac{\sum AF \text{ muestr/arb} * N \text{ hojas/arb}}{N \text{ hojas/muestr}} \quad \text{Ec. 4}$$

Cálculo de área foliar total

Fuente: La Autora

Dónde:

AF = Área foliar total por árbol

$\sum AF \text{ muestr/arb}$ = Sumatoria de área foliares de la muestra

N hojas / arb = Número de hojas por árbol

N hojas / muestr = Número de hojas de la muestra

3.3.3. Establecer la relación entre el área foliar y las variables dasométricas de los individuos.

Una vez determinada el área foliar por árbol, se procedió a establecer la relación con las variables dasométricas de cada individuo, mediante una adaptación de la metodología utilizada por Muñoz, (2005).

3.3.3.1. Medición de variables dasométricas

a) Diámetro a la altura del pecho

Se tomó la medida del diámetro a la altura del pecho, se utilizó una cinta diamétrica. Para que la medida sea correcta se midió desde el suelo con ayuda de una cinta métrica una altura de 1,30 m para tomar la respectiva medida del diámetro con la cinta diamétrica.

b) Diámetro basal

Se tomó la medida del diámetro basal a una altura de 15 cm de la base del árbol, se utilizó una cinta diamétrica.

c) Diámetro de copa

Para el diámetro de copa se utilizó una cinta métrica y se midió haciendo una proyección desde la parte más saliente de la copa en forma de cruz, midiendo diámetro máximo y diámetro mínimo, para obtener una media. Para ello se utilizó la ecuación 5.

$$Dc = \frac{D1+D2}{2} \quad \text{Ec 5}$$

Diámetro de copa

Fuente: Ugalde (1981)

Dónde:

Dc= Diámetro de copa

D1= Diámetro uno

D2= Diámetro dos

d) Altura total

Se realizó la medición, utilizando un Clinómetro Sunnto, desde el tronco o fuste hasta la parte terminal del árbol o ápice. Se utilizó la siguiente fórmula (Ec 6)

$$Ht = \frac{\alpha 2 - \alpha 1}{100} * DH \quad \text{Ec 6}$$

Altura total

Fuente: Cancino (2012)

Dónde:

Ht= Altura

α_2 = ángulo dos

α_1 = ángulo uno

DH= Distancia horizontal

e) *Altura comercial*

Se realizó la medición, utilizando un Clinómetro Sunnto, desde el tronco o fuste hasta la última posición terminal utilizable, definida por el diámetro mínimo, ramas y defectos.

3.3.3.2. *Cálculo de modelos alométricos*

Para el cálculo de modelos alométricos se separó los árboles de plantación pura y los árboles de sistemas agroforestales.

La metodología que se utilizó es una adaptación de la propuesta por Andrade & Segura, (2008), misma que se detalla a continuación.

Se organizó la información de cada individuo en una matriz, mostrando en la misma fila los datos de las variables independientes que se obtuvieron en campo como son: diámetro basal, Dap, diámetro de copa, altura total, altura comercial, de la misma manera la variable dependiente como es el área foliar. Posteriormente se realizó el gráfico del área foliar contra cada variable independiente con el fin de observar la tendencia del gráfico y definir si el modelo que se va a utilizar es lineal o no.

Luego de definir el modelo se procedió a realizar los respectivos análisis de regresión lineal múltiple, con las variables independientes con respecto a la variable dependiente, para ello se utilizó el software InfoStat versión 2015.

3.3.3.3. *Selección del modelo alométrico de mayor ajuste*

La selección del modelo alométrico que mejor se ajuste a los datos se lo realizó a partir de los siguientes criterios.

El coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de determinación ajustado (R^2 -ajus.) que 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 (Ec 7).

$$RCME = \sqrt{SCR/(n - p)} \quad \text{Ec 7}$$

Error estándar de la estimación

Fuente: Aguirre y Vizcaino (2010)

Dónde:

RCME: Raíz cuadrada media del error

SCR: Suma del cuadrado de los residuos

n: número de observaciones

p: número de parámetros del modelo lineal

Suma de cuadrados de los residuos predichos que se calculó con la ecuación 8 (Ec 8)

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

Suma de cuadrados de los residuos predichos

Fuente: Andrade y Segura (2008)

Dónde:

PRESS: suma de cuadrados de los residuos de los predichos

Y_i : valor observado

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

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Selección de arboles

Aplicando la ecuación de la muestra se seleccionaron al azar nueve árboles en el sistema agroforestal y diez árboles en la plantación pura. De los árboles seleccionados se midió las variables dasométricas diámetro basal, diámetro a la altura del pecho, diámetro de copa, altura total y comercial.

La estadística descriptiva de las variables dasométricas de los árboles seleccionados presentada en la Tabla 2 indica en sistema agroforestal que la desviación estándar mostró datos agrupados, el error estándar de la media es representativo del conjunto de datos y los coeficientes de variación son homogéneos y en plantación pura la desviación estándar mostró datos agrupados para Dap y Db y datos dispersos para Ht , Hc , Dc ; el error estándar de la media es representativo para el conjunto de datos y los coeficientes de variación presentan cierta heterogeneidad. La estadística descriptiva de los datos de los árboles de sistema agroforestal, mostró valores aceptables para poder realizar inferencias estadísticas, mientras que en la plantación pura presenta cierta disparidad en algunas variables debido a las condiciones en las que se encuentra la plantación donde se realizó la investigación.

Tabla 2

Estadística descriptiva de las variables dasométricas de los árboles y área foliar

| SISTEMA AGROFORESTAL | | | | | | |
|-----------------------------|------------------|----------------------|----------------------|--------------------|---------|-------------------------------|
| | Altura total (m) | Altura comercial (m) | Diámetro de copa (m) | Diámetro basal (m) | Dap (m) | Área foliar (m ²) |
| X | 20,90 | 17,91 | 10,32 | 0,51 | 0,40 | 359,04 |
| S | 3,68 | 3,13 | 1,16 | 0,11 | 0,09 | 197,32 |
| Sx | 1,23 | 1,04 | 0,39 | 0,04 | 0,03 | 65,77 |
| CV | 17,61 | 17,49 | 11,25 | 21,44 | 21,53 | 54,96 |
| PLANTACIÓN PURA | | | | | | |
| X | 10,14 | 5,88 | 7,27 | 0,24 | 0,19 | 136,49 |
| S | 2,60 | 2,67 | 1,25 | 0,09 | 0,07 | 71,50 |
| Sx | 0,87 | 0,89 | 0,42 | 0,03 | 0,02 | 23,83 |
| CV | 25,63 | 45,32 | 17,22 | 37,09 | 38,10 | 52,38 |

X: Media; **S:** Desviación estándar; **Sx:** Error estándar de la media; **CV:** Coeficiente de variación

Fuente: La Autora

La media en la altura de los árboles del sistema agroforestal es superior a la de la plantación pura debido a la edad de los árboles, puesto que los árboles del sistema agroforestal tienen 25 años aproximadamente y la plantación es de siete años de edad. Los coeficientes de variación en la altura, Db y Dap de los árboles de sistema agroforestal son menores que los de la plantación puesto que en el sistema agroforestal los árboles son manejados y la diferencia de medidas de las variables dasométricas es mínima, a diferencia de la plantación que no tiene manejo y en ella se presentan árboles dominantes, codominantes y suprimidos, por ende, hay mucha variación de medidas en las variables dasométricas. En cuanto al área foliar, los árboles del sistema agroforestal tienen mayor área foliar que los de la plantación, debido a que sus

copas son mucho más grandes, además se evidencio que los árboles del sistema poseen hojas más grandes que los árboles de la plantación pura.

En la investigación realizada por España (2016) en una plantación pura de tres años de la misma especie de estudio y con las mismas condiciones de sitio que la actual investigación, registro una media para Dap, Db y Ht de 14 cm, 16 cm, 9 m respectivamente, además, presenta coeficientes de variación homogéneos. Esto se debe a que antes de establecer la plantación se implementaron cultivos de ciclo corto que aportaron nutrientes al terreno, por lo tanto, durante los primeros tres años los árboles tuvieron un buen desarrollo y un crecimiento uniforme, a diferencia de la plantación donde se desarrollo el presente estudio, a una edad de siete años de establecida no a tenido manejo, dándose una competencia por luz agua y nutrientes, por ende el crecimiento de los árboles varia de individuo a individuo.

4.2. Medidas lineales y área foliar de la hoja

Los datos de los parámetros foliares, indican un largo de la lámina foliar sin peciolo promedio de 13,40 cm, un ancho promedio de 6,86 cm, con una variación en el largo de 16,26 a 10,90 cm y en ancho de 8,77 a 5,40 cm, como muestra la (Figura 3).

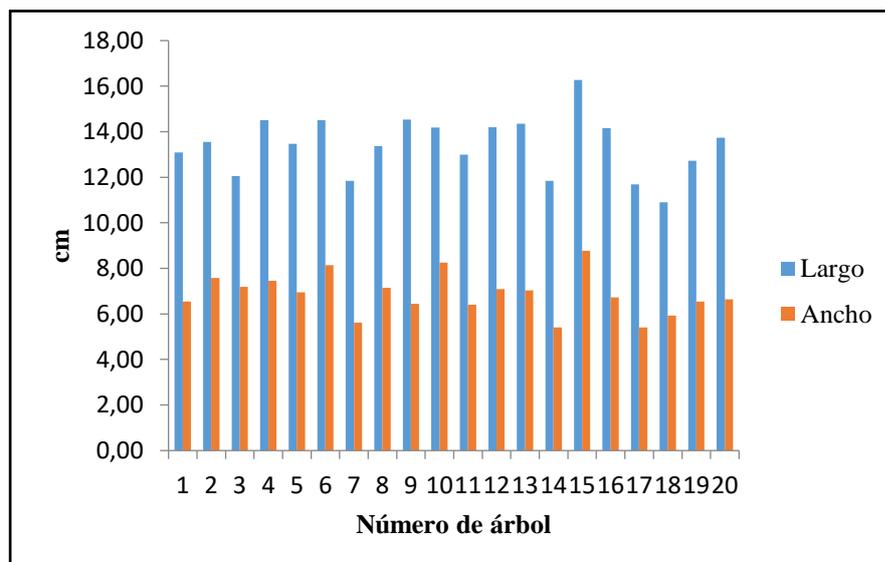


Figura 3. Medidas promedio de largo y ancho de la hoja

Fuente: La Autora

La estadística descriptiva de los parámetros foliares (Tabla 3), indica que la desviación estándar presenta datos agrupados, el error estándar de la media es representativo del conjunto de datos y los coeficientes de variación son relativamente homogéneos.

Tabla 3
Estadística descriptiva de los parámetros foliares y área foliar

| | Largo (cm) | Ancho (cm) | L x A (cm) | Área Foliar (cm ²) |
|-----------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| X | 13,40 | 6,86 | 97,23 | 64,72 |
| S | 1,28 | 0,91 | 20,96 | 14,06 |
| Sx | 0,29 | 0,20 | 4,69 | 3,14 |
| CV | 9,59 | 13,23 | 21,56 | 21,73 |

X: Media; S: Desviación estándar; Sx: Error estándar de la media; CV: Coeficiente de variación.

Fuente: La Autora

Cabezas et al., (2009) determinaron para *Alnus acuminata* H.B.K, largo promedio de 8,38cm, un ancho promedio de 4,67cm, con variación entre 4,80 y 12,40 cm y 2,50 a 7,20 cm, largo y ancho respectivamente, para la presente investigación se determinó un largo promedio mayor que la registrada por Cabezas, debido a las formas de hoja propias de cada especie. Por otro lado, dos Santos, J. Costa, R. de Sousa, A. Moura, F. da Silva, J. y Silva, J (2016) determinan para *Hymenaea courbaril* L, una media para largo de 10,39 cm y de 5,44 cm para el ancho de la hoja, con variación de 5 cm a 16,30 cm en el largo y de 2,70 cm a 9,10 cm en el ancho de la hoja, tomando en cuenta que las medidas es de los foliolos de la hoja ya que esta especie posee hojas compuestas a diferencia de la especie objeto de estudio que tiene hojas simples. Para *Theobroma cacao* L. Suárez, Melgarejo, Durán, Di Rienzo, y Casanoves (2018) determinan largo promedio 15,47 cm y ancho promedio 5,59 cm, con variación en el largo de la hoja de 2,34 cm a 29,08 cm y en el ancho de 1,11 cm a 10,47 cm considerando que las hojas fueron recolectadas de plantación y de vivero mientras que en el presente estudio se tomó en cuenta solamente plantas adultas, razón por la cual se observa alta variación en las medidas lineales de las hojas con respecto a las medidas de la especie utilizada.

4.3. Modelos alométricos

Se determinaron seis modelos alométricos para el área foliar individual de la hoja, seis modelos para área foliar de sistemas agroforestales y seis modelos para plantación pura, en las cuales los coeficientes de determinación R^2 son superiores a 0,90 valor que muestra un buen ajuste.

Por lo tanto se puede deducir que se acepta la hipótesis alterna, debido a que existen modelos alométricos que pueden determinar con un mínimo grado de error el área foliar por hoja, en sistemas agroforestales y en plantación pura de *Alnus Nepalensis* D. Don.

4.4. Selección del mejor modelo

4.4.1. Área foliar por hoja

En la Tabla 4 se presenta seis modelos alométricos con mejor ajuste para área foliar por hoja.

Tabla 4
Modelos alométricos de área foliar por hoja

| N | ECUACIÓN | R^2 | R^2 Ajustado | PRESS | RCME |
|---|--|-------|-------------------|--------|-------|
| 1 | $AF = 1,02 + 0,12 Lh^2 + 0,80 Ah^2$ | 0,99 | 0,99 | 39,82 | 2,52 |
| 2 | $AF = 0,37 + 0,66 (Lh \times Ah)$ | 0,97 | 0,97 | 68,86 | 5,76 |
| 3 | $AF = -26,23 + 0,17 Lh^2 + 8,64 Ah$ | 0,98 | 0,98 | 110,62 | 7,52 |
| 4 | $AF = 7,26 + 0,12 Lh^2 - 2,46 Ah + 1 Ah^2$ | 0,98 | 0,98 | 215,19 | 21,46 |
| 5 | $AF = -33,46 + 10,56 Ah + 0,14 Lh^2$ | 0,96 | 0,96 | 78,45 | 8,30 |
| 6 | $AF = 11,27 + 0,82 (Lh \times Ah) - 1,84 Lh$ | 0,96 | 0,96 | 34,01 | 34,44 |

R^2 : Coeficiente de determinación, R^2 Ajustado: Coeficiente de determinación ajustado, PRESS: suma de cuadrados de los residuos de los predichos, RCME: Error cuadrático medio, AF: Área foliar, Ah: Ancho de la hoja, Lh: Largo de la hoja.

Fuente: La Autora

Los modelos que presentaron mejor ajuste para la determinación de área foliar por hoja son el modelo 1 que presentó coeficiente de determinación de 0,99 utilizando como variables

independientes el largo y el ancho de la hoja elevados al cuadrado, y el modelo 2 con un R^2 de 0,97 que se ajustó con el producto del largo y ancho de la hoja como variable independiente. En el estudio de Cabezas et al. (2009) en *Alnus acuminata* el mejor modelo con R^2 de 0,97 es el que contempla como variables regresoras el producto del largo y el ancho de la hoja, el mismo que se asemeja al modelo 2 de este estudio lo cual muestra un alto grado de confiabilidad. Así mismo, dos Santos y otros (2016) en *Hymenaea courbaril* el mejor modelo presenta un R^2 de 0,98 el que también utiliza como variable independiente el producto del largo y ancho de la hoja, de igual manera, Keramatlou, Sharifani, Alizadeh y Kamka (2014) en *Juglans regia* determinan como mejor modelo al que utiliza como variables independientes al largo por el ancho de la hoja, con un coeficiente de determinación de 0,99. A diferencia del presente estudio en el que el mejor modelo utiliza las variables largo y ancho de la hoja elevadas al cuadrado.

En la Figura 4 se presenta el gráfico de valores predichos vs observados, mismo que muestra que la diferencia entre dichos valores es mínima.

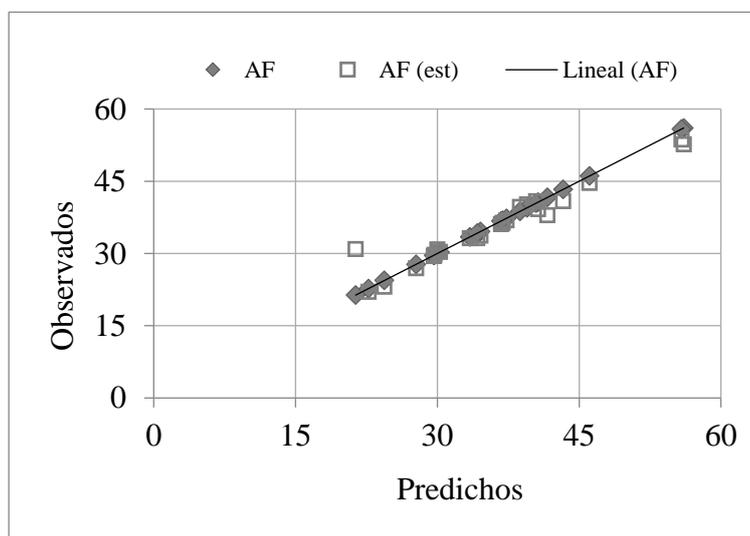


Figura 4. Exploración gráfica para el modelo 1 de área foliar por hoja
Fuente: La Autora

4.4.2. Área foliar por árbol

Los modelos alométricos con mejor ajuste para área foliar en sistemas agroforestales y plantación pura se presentan en la tabla 5.

Tabla 5
Modelos alométricos para sistemas agroforestales

| SISTEMA AGROFORESTAL | | | | | |
|----------------------|---|----------------|----------------------|---------|---------|
| N | ECUACIÓN | R ² | R ² Aj | PRESS | RCME |
| 1 | $AF = 2162,83 + 6609,30 Db^2 - 10492,40 Dap + 2,47 (DbHt)^2 + 5,06 (DapHc)^2$ | 0,99 | 0,99 | 2464,41 | 503,19 |
| 2 | $AF = 2207,92 + 8480,18 Db^2 - 11604,47 Dap + 0,41 Ht^2 + 5,75 (DapHc)^2$ | 0,99 | 0,99 | 2570,69 | 507,09 |
| 3 | $AF = 278,13 + 39,15 (Db^2Hc)^2 - 71,42 (Dap^2Hc)^2 - 1021,90 Db^2$ | 0,99 | 0,98 | 3770,96 | 903,05 |
| 4 | $AF = 1714,99 + 6923,41 Db^2 - 8815,98 Dap + 2,41 (DbHt)^2$ | 0,99 | 0,98 | 4550,03 | 848,19 |
| 5 | $AF = 505,72 + 22,31 (Db^2Ht)^2 - 40,44 (Dap^2Ht)^2 - 41,71 Dc$ | 0,98 | 0,97 | 4851,54 | 1251,30 |
| 6 | $AF = 150,45 + 6254,63 (DbDap)^2 - 93,59 (DapDc)^2 + 54,58 (DbDc)^2$ | 0,98 | 0,96 | 7354,69 | 1656,20 |
| PLANTACIÓN PURA | | | | | |
| 1 | $AF = -118,53 + 1317,84 Db - 62,90 (Db^2Dc)^2 - 5,51 Hc$ | 0,97 | 0,96 | 1653,14 | 188,99 |
| 2 | $AF = -133,06 + 2307,45 Db - 5,28 (DbHt)^2 - 1243,75 Dap$ | 0,97 | 0,95 | 1866,03 | 239,14 |
| 3 | $AF = -133,94 + 1437,28 Db - 53,50 (Dap^2Hc)^2 - 1587,02 Dap^2$ | 0,97 | 0,95 | 1845,89 | 217,36 |
| 4 | $AF = -99,84 + 1069,63 Db - 48,23 (Dap^2Ht)^2$ | 0,97 | 0,96 | 1873,98 | 210,23 |
| 5 | $AF = -93,41 + 1035,61 Db - 18,10 (Db^2Ht)^2$ | 0,96 | 0,95 | 2028,11 | 248,54 |
| 6 | $AF = -132,27 + 1327,18 - 8,53 (DapHt)^2$ | 0,96 | 0,95 | 2085,45 | 247,72 |

R²: Coeficiente de determinación, **R²Ajustado:** Coeficiente de determinación ajustado, **PRESS:** suma de cuadrados de los residuos de los predichos, **RCME:** Error cuadrático medio, **AF:** Área foliar, **Db:** Diámetro basal, **Dc:** Diámetro de copa, **Dap:** Diámetro a la altura del pecho, **Ht:** Altura total, **Hc:** Altura comercial.

Fuente: La Autora

Los modelos alométricos de sistema agroforestal y de plantación pura tienen cierta similitud, siendo el mejor modelo para área foliar en sistemas agroforestales $AF = 2162,83 + 6609,30 Db^2 - 10492,40 Dap + 2,47 (DbHt)^2 + 5,06 (DapHc)^2$ y para plantación pura $AF = -118,53 + 1317,84 Db - 62,90 (Db^2Dc)^2 - 5,51 Hc$ con coeficientes de determinación de 0,99 y 0,97 respectivamente. En el estudio realizado por Das (2015) para *Swietenia mahagoni* utiliza como variables regresoras el Dap y la Ht del árbol, presenta coeficientes de determinación superiores a 0,90 en los mejores modelos para esta combinación de variables, se observa que al usar al Dap como variable regresora el R^2 ajustado es altamente significativo, en cambio en el presente estudio, utilizando el coeficiente de Mallows para la comparación entre las variables utilizadas en los modelos se determinó que el Db como variable regresora que presenta mayor significancia. Por otro lado Muñoz (2005) determinó mediante método destructivo en *Eucalyptus nitens* utilizando como variables independientes el diámetro del tocón y diámetro en la base de la copa viva, obtuvo un coeficiente de determinación de 0,80 para el mejor modelo, el estudio difiere con la presente investigación ya que se realizó mediante método no destructivo y utilizando variables dasométricas de árboles en pie.

A continuación, la Figura 5 presenta el gráfico de valores predichos vs observados para el mejor modelo alométrico de área foliar en sistemas agroforestales. El gráfico muestra que ha existido un buen ajuste puesto que la diferencia es mínima.

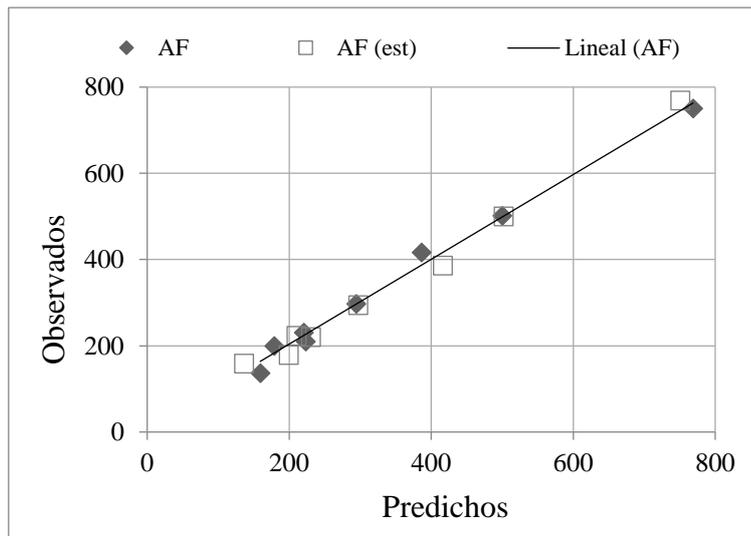


Figura 5. Exploración gráfica para el modelo 1 de sistema agroforestal
Fuente: La Autora

Se presenta en la Figura 6 el gráfico de valores predichos vs observados del mejor modelo para determinar el área foliar en plantación pura. Se evidencia que la diferencia es mínima entre los valores, mostrando un buen ajuste.

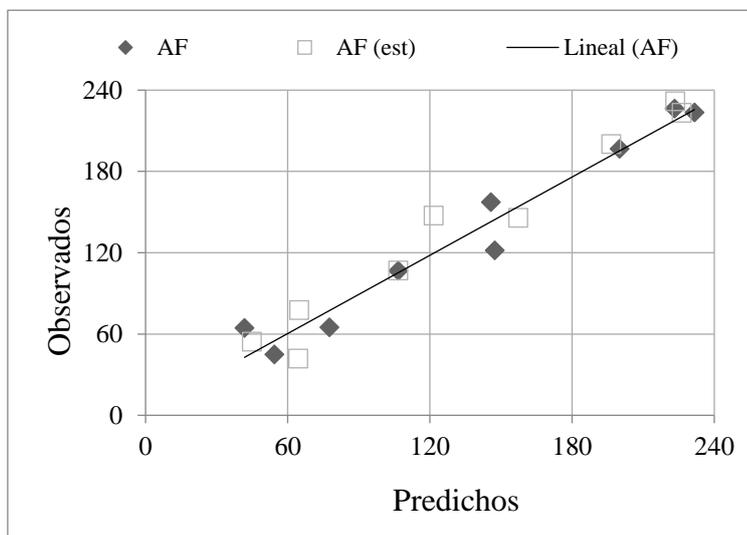


Figura 6. Exploración gráfica para el modelo 1 de plantación pura
Fuente: La Autora

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se acepta la hipótesis alterna, debido a que existen modelos alométricos que pueden determinar con un mínimo grado de error el área foliar por hoja, en sistemas agroforestales y en plantación pura.
- Las medidas lineales largo y ancho tienen una relación lineal positiva con el área foliar de la hoja. Las variables independientes largo y ancho de la hoja elevadas al cuadrado tuvieron mayor ajuste para realizar los modelos alométricos de determinación de área foliar por hoja en *Alnus Nepalensis* D.Don., así también, el producto de largo y el ancho de la hoja tuvo un ajuste adecuado para determinar área foliar.
- La variable regresora con mayor significancia para realizar los modelos alométricos de área foliar por árbol en sistemas agroforestales y plantación pura fue el Db, con la combinación de las variables $(DbHt)^2$, $(DapHc)^2$, Dap y Db, para sistema agroforestal; y para plantaciones con la combinación de las variables $(Db^2Dc)^2$, el Db y la Hc. Esta variable tiene relación lineal positiva con el área foliar del árbol.

5.2. Recomendaciones

- Realizar estudios de fisiología de la especie utilizando como referencia la presente investigación.
- Los modelos alométricos deben ser utilizados solo para las mismas condiciones edafoclimáticas en las que se realizó el estudio.

- Realizar estudios para determinación de área foliar en diferentes sitios donde se encuentre la especie.
- Los estudios para área foliar deben realizarse en plantaciones manejadas para que no exista mucha variación entre los árboles.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, C., y Vizcaino, M. (2010). *Aplicación de estimadores estadísticos y diseños experimentales en investigaciones forestales*. Ibarra. Editorial universitaria.
- Álvarez, Y., Álvarez, E., Cano, J., y Suescún, D. (2012). Modelo matemático para estimar área foliar en árboles del bosque tropical seco en el Caribe colombiano. *Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*, 7(1), 69-79. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4866003>
- Andrade, H., y Segura, M. (2008). ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? *Agroforestería en las Américas*, No 46, 89-96. Recuperado de: http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/6935/Como_construir_modelos_alometricos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Añazco, M., y Vallejos, H. (2018). *Incremento de la cobertura forestal en la zona de Intag, provincia de Imbabura – Ecuador utilizando la especie de uso múltiple Aliso (Alnus nepalensis) En plantaciones y sistemas agroforestales*. Recuperado de X Simposio Internacional sobre Manejo Sostenible de los Recursos Forestales (SIMFOR 2018): http://eventos.upr.edu.cu/index.php/SIMFOR_2018/taller1/index
- Cabezas, M., Peña, F., Duarte, H., y Colorado, J. (2009). Un modelo para la estimación del área foliar en tres especies forestales de forma no destructiva. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 12(1), 121-130.
- Cancino, J. (2012). *Dendrometría Básica*. Recuperado de: <http://repositorio.udec.cl/handle/11594/407>

- Carollo, C. (2012). *Regresion lineal simple*. Recuperado de:
http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat_50140116_Regr_%20simple_2011_12.pdf
- Cevallos, J. L. (2017). *Determinación de la ubicación geográfica de *Alnus nepalensis* D. Don en la zona de Intag noroccidente del Ecuador*. (Tesis de pregrado) Recuperado de
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7001/1/03%20FOR%20258%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Das, N. (2015). Allometric Modeling for Leaf Area and Leaf Biomass Estimation of *Swietenia mahagoni* in the North-eastern Region of Bangladesh. *Journal of Forest and Environmental Science*, 30(4), 351-361. Recuperado de:
http://www.ndsl.kr/soc_img/society/ifsknu/SRGHBV/2014/v30n4/SRGHBV_2014_v30n4_351.pdf
- Delgado, A., Acevedo, M., Castellanos, H., Ramírez, H., y Serrano, J. (2005). Relaciones alométricas y patrones de crecimiento para especies de árboles de la reserva forestal Imataca, Venezuela. *Interciencia*, 275-283.
- dos Santos, J., Costa, R., de Sousa, A., Moura, F., da Silva, J., y Silva, J. (2016). Use of allometric models to estimate leaf area in *Hymenaea*. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 28(4), 357-369. Recuperado de:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s40626-016-0072-8>
- España, R. (2016). *Construcción de modelos alométricos para la determinación de biomasa aérea en aliso de Nepal (*Alnus nepalensis* D. Don) en la Zona de Intag, Andes del Norte del Ecuador*. (Tesis de pregrado) Recuperado de:
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5728>
- FAO. (2001). *Plantaciones forestales*. Recuperado de
<http://www.fao.org/3/y1997s/y1997s09.htm>

- Farrel, J., y Altieri, M. (2014). *Sistemas argoforestales* . Recuperado de https://socla.co/wp-content/uploads/2014/sistemasagroforestales_m.a._altieri.pdf
- Iglesias, M. (1999). *Sistemas de Producción Agroforestales. Conceptos Generales y Definiciones*. Recuperado de <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=961&path%5B%5D=463>
- Imaña-Encinas, J. (1998). *Dasometría práctica*. Freiburg: Brasilla, Brasil. Universidad de Brasilla.
- Imbaquingo, E., y 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)*. (Tesis de pregrado). Recuperado de: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/812>
- INAMHI. (2017). *ANUARIO METEREOLÓGICO*. Quito.
- Jiménez, J. (2010). *Funciones, Estructura y Morfología de las Hojas*. Cfgm Trabajos Forestales y de Conservación Medio Natural. Recuperado de: <http://www.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/20/Hojas.pdf>
- Keramatlou, I., Sharifani, M., Alizadeh, M., y Kamka, B. (2014). A simple linear model for leaf area estimation in Persian walnut (*Juglans regia* L.). *Scientia Horticulturae*, 36-39. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423814006906>
- LI-COR. (2019). *Medidores de área foliar. Rapido, preciso, confiable*. Recuperado de: https://es.licor.com/env/products/leaf_area/LI3100C/making_measurements.html
- Maigua, P. (2014). *Cuantificación de biomasa mediante el estudio dendrométrico en el cultivo de ciruelo (Prunus domestica L.) en la granja experimental “La Pradera”, parroquia*

- San José de Chaltura, cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura.* (Tesis de pregrado). Recuperado de: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4308>
- Molina, G. (2009). *El modelo de regresión lineal*. Recuperado de: http://ocw.uv.es/ciencias-de-la-salud/pruebas-1/1-3/t_09nuevo.pdf
- Montero, R. (2016). *Modelos de regresión lineal múltiple*. Universidad de Granada. España: Documentos de Trabajo en Economía Aplicada.
- Montoya, R., Hernández, A., Unigarro, M., y Flórez, R. (2017). Estimación de área foliar en café variedad Castillo. *Cenicafé*, 55-61. Recuperado de: <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/815>
- Muñoz, F. (2005). *Evaluación de prácticas silvícolas en plantaciones de Eucalyptus nitens (Deane & Maiden)*. (Tesis doctoral) Recuperado de: http://www2.udec.cl/~fmunoz/Tesis_F.Munoz.pdf
- Picard, M., Laurent, S., y Matieu, H. (2012). *Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/i3058s/i3058s.pdf>
- Ramirez, W. (s.f.). *MANEJO DE SISTEMAS AGROFORESTALES*. Recuperado de https://biblioteca.ihatuey.cu/link/libros/sistemas_agroforestales/manejo.pdf
- Rincón, N., Olarte, M., y Pérez, J. (2012). *Determinación del Área Foliar en Fotografías Tomadas con una Cámara Web, un Teléfono Celular o una Cámara Semiprofesional*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 65(1), 6399-6405 Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/1799/179924340010.pdf>
- Roberti, O., Bas Nahas, S., y Romero, I. (2014). *Métodos no destructivos de estimación del área foliar de hojas individuales en dos híbridos de sorgo dulce [Sorghum bicolor (L.) Moench]*. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán*, 27-31. Recuperado de: <https://riat.eaac.org.ar/ojs/index.php/riat/article/view/v91n104>

- Suárez, J., Melgarejo, L., Durán, E., Di Rienzo, J., y Casanoves, F. (2018). Non-destructive estimation of the leaf weight and leaf area in cacao (*Theobroma cacao* L.). *Scientia Horticulturae*, 229, 19-24. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423817306490>
- Ugalde, L. (1981). *Conceptos Basicos de la Dasometría*. Recuperado de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/886/Conceptos_basicos_de_dasometria.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Valencia, G. (s.f.). *El Área Foliar y Productividad del Cafeto*. In *Taller sobre Roya del Cafeto Hemileia vastatrix Berk y Br12-17 Abr 1982 Manizales (Colombia) (No. 633.7342063 T148 1982)*. Recuperado de <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/741/5/4%20Area%20foliar%20productividad%20cafeto.pdf>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Hoja de campo

| Matriz de toma de datos de campo | | | | | | | |
|----------------------------------|-----|----------------|------------------|--------------|------------------|-------------|-------------------|
| No de árbol | Dap | Diámetro basal | Diámetro de copa | Altura total | Altura comercial | No de ramas | No hojas por rama |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | |

Variables dasométricas de los árboles seleccionados, tomadas en campo.

Fuente: La Autora.

Anexo 2. Matriz de toma de datos de laboratorio.

| Matriz de toma de datos de laboratorio | | | | |
|--|-------|-------|---------|-------------|
| No de hoja | Largo | Ancho | Lh x Ah | Área foliar |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| 11 | | | | |
| 12 | | | | |
| 13 | | | | |
| 14 | | | | |
| 15 | | | | |
| 16 | | | | |
| 17 | | | | |
| 18 | | | | |
| 19 | | | | |
| 20 | | | | |

Parámetros foliares medidos en laboratorio.

Fuente: La Autora

Anexo 3. Fase de campo



Conteo de hojas por rama de *Alnus nepalensis*.
Fuente: La Autora

Anexo 4. Fase de campo



Recolección de hojas de *Alnus nepalensis*.
Fuente: La Autora

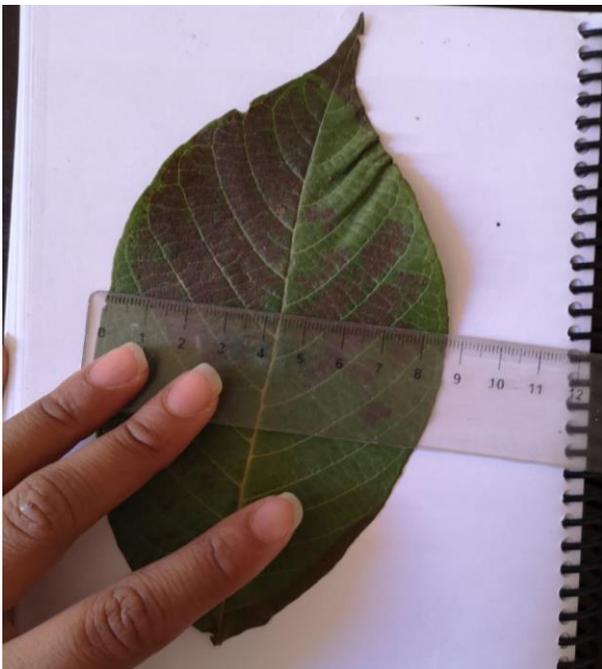
Anexo 5. Fase de laboratorio



Codificación de hojas

Fuente: La Autora

Anexo 6. Fase de laboratorio



Medición del ancho de la hoja

Fuente: La Autora

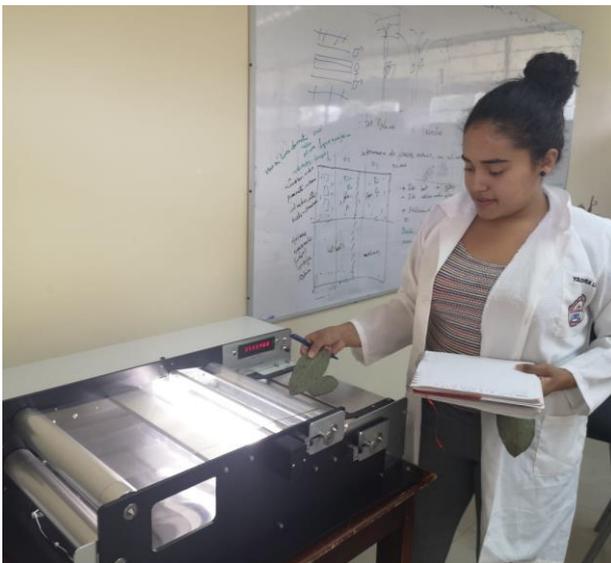
Anexo 7. Fase de laboratorio



Medición del largo de la hoja

Fuente: La Autora

Anexo 8. Fase de laboratorio



Medición de área foliar

Fuente: La Autora