

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 TABLAS VOLUMÉTRICAS Y FACTOR DE FORMA PARA *Alnus nepalensis* D. Don EN LA ZONA DE INTAG, NOROCCIDENTE DEL ECUADOR

AUTOR:

Jonathan Xavier Guamanzara Amaya

DIRECTOR:

Ing. Eduardo Jaime Chagna Ávila, Mgs.

IBARRA – ECUADOR

2020

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

“CONSTRUCCIÓN DE TABLAS VOLUMÉTRICAS Y FACTOR DE FORMA PARA *Alnus nepalensis* D. Don EN LA ZONA DE INTAG, NOROCCIDENTE 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

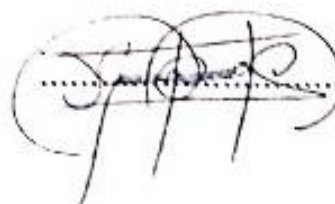
Ing. Eduardo Jaime Chagna Ávila, Mgs.

Director de trabajo de titulación



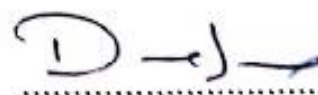
Ing. Jorge Luis Ramírez López, M.Sc.

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:	100363605-5		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Guamanzara Amaya Jonathan Xavier		
DIRECCIÓN:	Calles Jacinto Egas y Ricardo Sánchez		
EMAIL:	jxguamanzaraa@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062611-872	TELÉFONO MÓVIL:	0979402904

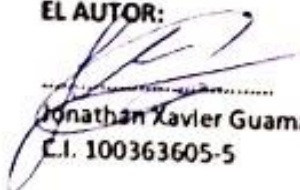
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	CONSTRUCCIÓN DE TABLAS VOLUMÉTRICAS Y FACTOR DE FORMA PARA <i>Alnus nepalensis</i> D. Don, EN LA ZONA DE INTAG, NOROCCIDENTE DEL ECUADOR
AUTOR (ES):	Jonathan Xavier Guamanzara Amaya
FECHA: DD/MM/AAAA	16 de noviembre 2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Forestal
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Eduardo Jaime Chagna Ávila, Mgs.

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 16 días del mes de noviembre de 2020

EL AUTOR:


Jonathan Xavier Guamanzara Amaya
C.I. 100363605-5

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA - UTN

Fecha: 16 de noviembre de 2020

Jonathan Xavier Guamanzara Amaya: **“CONSTRUCCIÓN DE TABLAS VOLUMÉTRICAS Y FACTOR DE FORMA PARA *Alnus nepalensis* D. Don EN LA ZONA DE INTAG, NOROCCIDENTE DEL ECUADOR”**. Trabajo de titulación. Ingeniero Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra 16 de noviembre del 2020, 73 páginas.

DIRECTOR: Ing. Eduardo Jaime Chagna Ávila, Mgs.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Construir tablas volumétricas y calcular el factor de forma, para *A. nepalensis* D Don, en plantaciones y sistemas agroforestales. Entre los objetivos específicos se encuentra: Establecer una ecuación volumétrica para construcción de tablas de volumen., y determinar un factor de forma aplicable para *A. nepalensis* D Don.

Fecha: 16 de noviembre de 2020



Ing. Eduardo Jaime Chagna Ávila, Mgs.

Director de trabajo de titulación



Jonathan Xavier Guamanzara Amaya

Autor

DEDICATORIA

La presente investigación va dedicada a:

Dios por el regalo de la vida y su ayuda en este largo caminar.

Mis padres José Guamanzara y Maritza Amaya, por haberme guiado por el camino del bien además del apoyo incondicional brindado desde siempre.

Mis hermanos Michelle, Damaris y Josué; por su confianza vertida en mí.

Mis Abuelitas Por ese amor de madre y sus sabios consejos para enfrentar la vida

Mi mejor amiga, Jessy Villalobos por su sinceridad y lealtad, por aquellos excelentes consejos que ha sabido brindar.

Mi primo, Hernán Bonilla, quien siempre me ha apoyado en todas las circunstancias de la vida.

Mis tíos, Quienes me han sabido mostrar su aprecio en todo este tiempo.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitirme haber cerrado este ciclo en mi vida personal, por estar conmigo en cada una de mis etapas cumplidas, por ser mi motor y ayuda en los días más difíciles.

A la Universidad Técnica del Norte por acogerme y formarme como profesional en todos estos años de estudio.

A mis padres por su incansable esfuerzo y sacrificio diario para hacer posible este sueño, ya que nunca perdieron la confianza en mí.

A mi director y oponentes, quienes han aportado con sus conocimientos al éxito de este logro.

A mi amigos y compañeros de aula, en especial a Rubén Farinango por su amistad desinteresada y su apoyo para lograr cumplir este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
APROBACION.....	ii
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD	
TÉCNICA DEL NORTE	iii
REGISTRO BIBIOGRÁFICO.....	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xix
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	21
1.1 Objetivos.....	22
1.1.1 General.....	22
1.1.2 Específicos.....	22
1.2 Hipótesis	22

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 Fundamentación Legal.....	23
2.1.1 Constitución De La República Del Ecuador.....	23
2.1.2 Código Orgánico Del Ambiente.....	23
2.1.3 Acuerdo Ministerial 327.....	23
2.1.4 Línea de investigación.....	24
2.2 Fundamentación teórica.....	24
2.2.1 Descripción de la especie <i>Alnus nepalensis</i> D. DON.....	24
2.2.2 Plantación forestal.....	26
2.2.3 Plantación comercial.....	26
2.2.4 Variables dasométricas.....	26
2.2.5 Ajustes de regresión con variables forestales.....	28
2.2.6 Modelos alométricos.....	28
2.2.7 Tablas de volumen.....	30
2.2.8 Factor de forma.....	31
2.2.9 Prueba de hipótesis.....	31

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA.....	33
3.1. Descripción del sitio.....	33
3.1.1 Ubicación política.....	33
3.1.2 Ubicación geográfica.....	33
3.2. Datos climáticos.....	34
3.2.1. Temperatura.....	34
3.2.2. Precipitación.....	34
3.2.3. Pendiente.....	34
3.4. Materiales y equipos.....	34
3.5. Metodología.....	35
3.5.1 Mapa de ubicación.....	35
3.5.2 Selección del área.....	35
3.5.3 Muestreo.....	36
3.5.4 Cubicación.....	37
3.5.5 Elaboración de modelos alométricos.....	39
3.5.6 Determinar un factor de forma para <i>A. nepalensis</i> D DON.....	42
3.5.6.1 Cálculo del volumen del cilindro.....	42
3.5.6.2 Volumen real de árboles individuales.....	42

3.5.6.3	Cálculo Del Factor De Forma.....	42
CAPITULO IV		
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1.	Resultados.....	44
4.1.1.	Análisis estadístico.....	45
4.2	Ecuación volumétrica para construcción de tablas de volumen.	45
4.2.1	Selección de los mejores modelos para cálculo de volumen	46
4.2.2	Validación del modelo seleccionado	48
4.3	Determinación del factor de forma para la especie alnus nepalensis D. Don.....	55
4.3.1.	COMPARACIÓN DE VOLÚMENES	56
4.4	Determinación de las hipótesis	57
4.4.1.	Prueba de normalidad (Kolmogorov Smirnov).....	57
4.4.2	Prueba de Z para comparación de medias.....	58
4.5	Resumen de volúmenes.....	59
CAPITULO V		
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
5.1.	Conclusiones.....	61
5.2	Recomendaciones	61
CAPITULO VI		

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	62
CAPITULO VII	xix
ANEXOS	xix

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modelos alométricos genéricos	29
Tabla 2. Coordenadas geográficas de los sitios.	33
Tabla 3. Materiales, equipos y software	35
Tabla 4. Número de individuos como parte del estudio	36
Tabla 5. Número de árboles para cada clase diamétrica.....	37
Tabla 6. Modelos alométricos con una variable	39
Tabla 7. Modelos alométricos con dos variables	40
Tabla 8. Criterios para selección del mejor modelo	41
Tabla 9. Resultados promedio de los árboles muestreados.....	44
Tabla 10. Estadística descriptiva de las variables dasométricas.....	45
Tabla 11. Selección del mejor modelo para tabla de una entrada.....	46
Tabla 12. Selección del mejor modelo para tabla de doble entrada.....	47
Tabla 13. Tabla de volumen de una sola entrada para <i>Alnus nepalensis</i> D. Don.	53
Tabla 14. Tabla de volumen de doble entrada para <i>Alnus nepalensis</i> D. Don.	54
Tabla 15. Comparación de volúmenes con diferentes factores de forma	56
Tabla 16. Factores de forma de diferentes especies.....	57
Tabla 17. Prueba Kolmogorov - Smirnov.....	57
Tabla 18. Prueba de z.....	58
Tabla 19. Resumen de los volúmenes calculados en este estudio	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de los sitios.....	35
Figura 2. Árbol apeado y seccionado.....	38
Figura 3. Dispersión de los residuos de la ecuación Hohenadl-Krenn	49
Figura 4. Probabilidad normal para Hohenadl-Krenn.....	49
Figura 5. Dispersión de los residuos de la ecuación Meyer.....	50
Figura 6. Probabilidad normal para el modelo Meyer	50
Figura 7. Comparación de precisión del volumen observado con el predicho (Hohennadl-Krenn) ...	51
Figura 8. Comparación de precisión del volumen observado con el volumen predicho (Meyer)	52
Figura 9. Resumen del cálculo del factor de forma por clase diamétrica	55
Figura 10. Comparación entre los volúmenes con diferente factor de forma.....	59

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1. Programa de corta aplicado en la comunidad "El Rosario"	21
Anexos 2. Programa de corta aplicado en la comunidad "La Loma"	22
Anexos 3. Matriz de hoja de campo.....	xix
Anexos 4. Medición del Dap	xix
Anexos 5. Árboles apeados.....	xx
Anexos 6. Medición de diámetros (mayor y menor)	xx
Anexos 7. Medición de la altura total y comercial del árbol	xx

TITULO: CONSTRUCCIÓN DE TABLAS VOLUMÉTRICAS Y FACTOR DE FORMA PARA *Alnus nepalensis* D. Don EN LA ZONA DE INTAG, NOROCCIDENTE DEL ECUADOR.

Autor: Jonathan Xavier Guamanzara Amaya

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

Año: 2020

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación, fue construir tablas volumétricas y generar un factor de forma para *Alnus nepalensis* D. Don, Para este efecto, se midió variables dendrométricas como: el diámetro a la altura del pecho (centímetros), altura total (metros) y altura comercial (metros), en 90 individuos apeados. Los árboles fueron seccionados en trozas de 2 metros en todo el fuste y posteriormente se midió los diámetros en los extremos de cada troza. Se determinó el volumen real de cada árbol para elaborar la ecuación que permitió construir la tabla de volumen y calcular el factor de forma. El volumen total observado fue 47,50 m³, mientras que el volumen calculado con la ecuación Hohenadl-Krenn resulto ser 47,66 m³, y el volumen presentado por la ecuación Meyer dio un volumen de 47,75 m³, por lo cual se concluye que estas ecuaciones fueron las más acertadas para la construcción de tablas de volumen de una y doble entrada para en *Alnus nepalensis* D. Don. en la zona de Intag. En cuanto al factor de forma se obtuvo un coeficiente de 0,5 influyendo significativamente al volumen calculado con el factor de forma 0,7 propuesto por el MAG. Para comprobar esta variabilidad, se realizó una prueba de Z y Kolmogorov Smirnov.

Se concluye que la tabla de volumen de una entrada obtenida en esta investigación es de fácil manejo, cuyos volúmenes son cercanos a la realidad.

Palabras clave: variables dendrométricas, ecuaciones volumétricas, factor de forma, tablas de volumen.

TITLE: CONSTRUCTION OF VOLUMETRIC EQUATIONS FOR *Alnus nepalensis* D. DON IN THE AREA OF INTAG, NOROCCIDENTE DEL ECUADOR

Author: Jonathan Xavier Guamanzara Amaya

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

Year: 2020

ABSTRACT

The objective of this research was to construct volumetric tables and generate a form factor for *Alnus nepalensis* D. Don. For this purpose, dendrometric variables were measured like diameter at chest height (centimeters), total height (meters) and commercial height (meters) were measured, in 90 felled individuals. The trees were sectioned into 2 meter logs throughout the stem and the diameters were subsequently measured at the ends of each log. The real volume of each tree was determined to elaborate the equation that allowed to build the volume table and calculate the form factor. The total volume observed was 47.50 m³, while the volume calculated with the Hohenadl-Krenn equation turned out to be 47.66 m³, and the volume presented by the Meyer equation gave a volume of 47.75 m³, which is why it is concluded that these equations were the most accurate for the construction of single and double entry volume tables for *Alnus nepalensis* D. Don. in the Intag area. Regarding the form factor, a coefficient of 0.5 was obtained, significantly influencing the volume calculated with the form factor 0.7 proposed by the MAG. To check this variability, a Z and Kolmogorov Smirnov test was performed. It is concluded that the volume table obtained in this investigation is easy to use, whose volumes are close to reality.

Keywords: dendrometric variables, volumetric equations, form factor, volume tables.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Ecuador es uno de los países con mayor biodiversidad del continente y del mundo el cual presenta características tales como: una ubicación geográfica que favorece a la variedad climática, posee gran diversidad de especies maderables, además presenta un rápido crecimiento en ciertas especies forestales. Es evidente la adaptación de especies con valor comercial que demanda el mercado nacional e internacional, capacidad industrial instalada y disponibilidad de tierras para la reforestación mencionado por el SUB-SECTOR PLANTACIONES FORESTALES EN EL ECUADOR (2007).

El programa SUBIR (Uso Sostenible de los Recursos Biológicos) en 1995 introdujo en nuestro país la especie forestal *Alnus nepalensis* D. Don, específicamente en la zona de Intag (Añazco, Vallejos, & Vizcaíno, 2018). Esta especie ha presentado una buena adaptación a las condiciones biofísicas presentes en esta zona. Los habitantes de esta jurisdicción juntamente con técnicos forestales, han optado por plantar esta especie, ya que tiene cualidades como: fijación de nitrógeno, rápido desarrollo, alta producción de biomasa, brinda sombra y excelentes características de la madera (Añazco & Vallejos, 2019).

Una de las actividades forestales que se realizan en esta zona, es el aprovechamiento de esta especie. Para este efecto, se elaboran programas de corta, basándose en lo establecido por el acuerdo ministerial 347 emitido por el MAG en el año 2014. En este documento es donde se aprueba el volumen de madera a extraer. Dicho volumen es calculado por las variables Dap, altura comercial y un factor de forma de 0,7 el cual es generalizado para la mayoría de especies forestales.

El motivo de la presente investigación, es desarrollar una herramienta técnica que permita calcular el volumen, utilizando una sola variable de fácil medición (Dap) y cuyo

resultado tenga el mínimo de errores. Las tablas de volumen de una entrada pueden cumplir esta función, debido a que pueden predecir el volumen total de un árbol con solo obtener su Dap. Para la construcción de dichas tablas es necesario aplicar modelos alométricos que permitan obtener el volumen real de las plantaciones forestales, valiéndose de la correlación existente entre las variables medidas directamente en los inventarios forestales. La forma del árbol juega un papel importante, debido a que es necesario contar con un f.f. propio para cada especie forestal y de esta manera poder calcular un volumen con mayor exactitud.

1.1 Objetivos

1.1.1 General.

Construir tablas volumétricas y calcular el factor de forma, para *Alnus nepalensis* D Don, en plantaciones y sistemas agroforestales.

1.1.2 Específicos.

- Establecer ecuaciones volumétricas para construcción de tablas de volumen.
- Determinar un factor de forma aplicable para *Alnus nepalensis* D Don.

1.2 Hipótesis

- Ho: El Factor de forma determinado para *Alnus nepalensis* D. Don, no influye significativamente en el cálculo del volumen, con relación al volumen calculado con el factor de forma establecido por el MAG.
- Ha: El Factor de forma determinado para *Alnus nepalensis* D. Don, influye significativamente en el cálculo del volumen, con relación al volumen calculado con el factor de forma establecido por el MAG.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentación legal

2.1.1 Constitución de la República del Ecuador.

La presente investigación se acoge a lo establecido en los siguientes artículos:

Capítulo séptimo: Derechos de la naturaleza

Art. 73.- El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Art. 74.- Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir. Los servicios ambientales no serán susceptibles de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

2.1.2 Código Orgánico del Ambiente.

El presente estudio se acoge a los siguientes capítulos y artículos:

Libro Segundo del Patrimonio Natural

Título VI: Régimen Forestal Nacional

Capítulo 3: Marco institucional especial

Art. 98.- Atribuciones. Con relación a la gestión de las plantaciones forestales de producción con fines comerciales, le corresponde a la Autoridad Nacional de Agricultura, en coordinación con la Autoridad Ambiental Nacional (MAE, 2017) .

2.1.3 Acuerdo ministerial 327.

Capítulo 1. Del objeto, ámbito de aplicación y competencia.

Art. 3.- El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, a través de la

Subsecretaría de Producción Forestal, es la entidad competente para aprobar los programas de corta, emitir licencias de aprovechamiento y guías de movilización (MAG, 2014).

Capítulo 2. Del programa de corta en plantaciones forestales comerciales.

Art. 4.- Del Programa de Corta y sus requisitos. - El programa de corta en plantaciones forestales comerciales es el documento que determina los criterios técnicos bajo los cuales se realizará las actividades de corta de una determinada plantación forestal comercial para predios individuales o asociativamente para varios predios (MAG, 2014).

Art. 5.- Aprobación del programa de corta. - El Programa de Corta será aprobado, será aprobado mediante acto administrativo emitido por el técnico forestal de la jurisdicción del predio en el término de 15 días hábiles, contados a partir de la presentación de la solicitud de aprobación; y, comprenderá solamente el área de la plantación forestal que será aprovechada. A falta de técnico forestal, el Subsecretario de Producción Forestal designará a quien esté facultado para aprobar los Programas de Corta (MAG, 2014).

Art. 7.- Vigencia del Programa de Corta. - El Programa de Corta de plantaciones forestales comerciales tendrá la misma vigencia de la Licencia de Aprovechamiento Forestal.

Art. 8.- Corresponsabilidad de información del Programa De Corta. - El propietario del área y los ejecutores de un determinado programa de corta serán corresponsables durante todo el periodo de vigencia del mismo, desde la planificación, ejecución y aprovechamiento (MAG, 2014).

2.1.4 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 Descripción de la especie *Alnus nepalensis* D. Don.

2.2.1.1 Descripción botánica.

Es un árbol que puede llegar a medir 30 m de altura y un diámetro de hasta 60 cm. Su corteza es lisa de color gris claro en árboles jóvenes y tornándose gris oscura y rugosa en individuos adultos. Está constituido por hojas simples, alternas de forma elíptica. Su borde es aserrado y cuyas nervaduras son prominentes en el envés (Alonso, 2012).

Duke (como citó España, 2016) menciona que las flores de esta especie, están distribuidas en amentos tanto masculinos como femeninos los cuales pueden estar en las mismas o en diferentes ramas. Los amentos masculinos son de color amarillo y miden entre 10 – 25 cm de largo, en cambio los amentos femeninos son más cortos, erectos y leñosos y se producen en la ramificación lateral de las ramas.

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 milímetros de ancho. En cuanto a la semilla se refiere, es de color marrón claro, de forma circular plana, alada, las cuales maduran de noviembre a marzo (Duke, 1983 citado por España, 2016).

2.1.1.2 Ecología de la especie.

Para Jøker (2000), el *Alnus nepalensis* D. Don, prefiere climas húmedos y frescos con una temperatura media anual de 13-26 ° C. Puede crecer a grandes altitudes de hasta 3000 m en regiones templadas y subtropicales, con precipitaciones anuales de 500 a 2500 mm y una época seca de hasta 6 meses de duración. El mejor crecimiento se obtiene en áreas donde la precipitación media anual supera los 800 mm y la humedad relativa es superior al 70%. Es un árbol que requiere suelos húmedos y bien drenados para un buen desarrollo. Por esta razón, en el Ecuador esta especie se ha desarrollado con gran éxito en varias comunidades de la zona de Intag y ocupa un área de distribución aproximadamente de 127,8 hectáreas en toda la zona (Añazco, Vizcaíno y Vallejos, 2018).

2.2.2 Plantación forestal.

Según Trujillo (2005), una plantación forestal es la instauración de una o varias especies forestales, provenientes de un vivero forestal, diseñado para cumplir ciertos objetivos. También se menciona que es el establecimiento de árboles que conforman una masa boscosa y que tiene un diseño, tamaño, especies definidas además facilita las labores de manejo y aprovechamiento de árboles (Caceres, Del castillo, y Maldonado, 2017).

2.2.3 Plantación comercial.

Una plantación forestal comercial es el establecimiento y manejo de especies forestales en terrenos de uso agropecuario o terrenos que han perdido su vegetación forestal natural (CNF, 2017). Las plantaciones forestales comerciales son denominadas como cultivos de especies forestales de rápido crecimiento y/o de alto valor comercial (FAO, 2000). Esto con el fin de mercantilizar sus productos, además de que contribuye a generar servicios ambientales, a reducir la deforestación en los bosques y a incrementar la superficie con cubierta arbórea al reincorporar terrenos agropecuarios de baja productividad al uso forestal (CONAFOR, 2018). Para García (2019) subsecretario de Producción Forestal del Ministerio de Agricultura y Ganadería, las plantaciones forestales comerciales no compiten con el bosque nativo, y por el contrario ratifica el rol preponderante que tienen las plantaciones forestales comerciales como recurso renovable, ya que, manejadas correctamente, tendrán uso continuo bajo conceptos de sustentabilidad.

2.2.4 Variables dasométricas.

2.2.4.1 Diámetro a la altura del pecho.

El diámetro a la altura del pecho más conocido como Dap, es una de las variables más utilizadas y más fácil de medir por los técnicos forestales (Cancino, 2000). La medición del Dap se realiza por lo general a 1,30 m, desde el suelo y se utiliza instrumentos como forcípula o cinta diamétrica Ramilo (2016).

2.2.4.2 Altura total.

Armijos, (2013) menciona que la altura del árbol, es la distancia vertical entre el nivel del suelo y la punta más alta del árbol. La altura, es un concepto relativo, dependiendo la parte del árbol que se quiera medir (altura total, altura de la copa y altura comercial) ya que esta variable permite: estimar volumen, crecimiento del árbol, índice de sitio entre otras (Lema, 1979 citado por Mora, 2019). Para la medición de la altura se utiliza instrumentos como: clinómetro, hipsómetro Suunto para árboles en pie y cinta métrica en caso de árboles apeados Ramilo (2016).

2.2.4.3. Altura comercial.

Es la distancia vertical que va desde el suelo hasta la primera bifurcación o hasta el punto donde el fuste tiene un diámetro comercial definido Aldana, (2008).

2.2.4.4 Volumen del árbol.

Medir correctamente la madera es fundamental en todo proceso de elaboración y de comercialización. Es necesario que el técnico forestal domine la cubicación de madera, ya que los encontrará en todas las etapas productivas. Desde la recepción de las materias primas hasta el despacho del producto terminado, pasando por todos los procesos intermedios de elaboración (Ramilo, 2016).

Para cubicar los árboles existen dos métodos los cuales son: cubicación de árboles apeados y cubicación de árboles en pie

- Volumen de árboles en pie.

Se define como la cantidad de madera estimada en metros cúbicos, a partir del tocón hasta el ápice del árbol. El volumen puede ser total o comercial, sin incluir las ramas y dependiendo de dónde se tomen las alturas, si es altura comercial, o altura total (Gutiérrez, Moreno, y Villota, 2013).

$$V = \frac{\pi}{4} * DAP^2 * Hc * ff$$

Ec. 1

Donde:

V= volumen del árbol

Dap = Diámetro a la altura del pecho

Hc= Altura comercial del árbol

f.f. = Factor de forma

- Volumen de árboles apeados.

Es el volumen más exacto del tronco que se obtiene mediante la división del fuste en trozas con longitudes similares. Es decir que para conocer el volumen real del fuste se suma el volumen de cada troza obtenido por métodos como: Smalian, Huber, Newton entre otros (Romahn y Ramírez, 2010).

2.2.5 Ajustes de regresión con variables forestales.

Es una técnica estadística, mediante la cual se puede establecer relaciones funcionales entre dos variables, que permitan visualizar, cómo evoluciona una en función de la otra. Se utiliza para analizar valores presentados por variables que muestran cierta dificultad de medición (volumen) y dichos valores son obtenidos por variables de fácil medición (altura y Dap) (Celeforestal, 2018).

2.2.6 Modelos alométricos.

Los modelos alométricos son ecuaciones matemáticas que permiten estimar el volumen, biomasa y carbono en arboles arbustos y palmas en función de variables de fácil medición (Álvarez, 2008). Los modelos alométricos tienen mucha aplicación en el campo forestal, esto se debe a que presentan mucha flexibilidad en su uso; utilizando variables medidas directamente tales como: el Dap, altura comercial, altura total realizando combinaciones entre ellas (Mori, 2014).

Un modelo de crecimiento se considera efectivo si está expresado en función de variables

predictoras fáciles de medir, con un coeficiente de determinación relativamente alto, por arriba de 0,8. Entre menor número de variables predictoras estén implicadas en un modelo, este es más apropiado es para ser usado (Alder, 1980 citado por Mori, 2014).

En la tabla 1 se presentan algunos modelos genéricos que son utilizados con mayor frecuencia para calcular el volumen, biomasa y carbono.

Tabla 1.

Modelos alométricos genéricos

Nombre	Modelo
Hohenadl – Krenn	$V = a + b * Dap + c * Dap^2$
Husch	$\ln V = a + b * \log Dap$
Brenac	$\log V = a + b * \log Dap + c \left(\frac{1}{Dap}\right)$
Spurr combinada	$V = a + b * Dap^2 * H$
Stoate	$V = a + b * Dap^2 + c * Dap^2 H + d * H$
Meyer	$V = a + b * Dap + c * Dap^2 * H + d * Dap * H + e * Dap^2 * H + f * H$
Schumacher-Hall	$\log V = a + b * \log Dap + c * \log * H$
Ogaya	$V = Dap^2(a + b * H)$

Nota. V = volumen; Dap = diámetro a la altura de pecho; h= altura total (m); a, b, c, d = parámetros del modelo; Log= logaritmo base 10.

Fuente: (Imaña, 2011)

2.2.6.1 Selección del modelo de mejor ajuste.

La selección del modelo con mejor ajuste es el producto de realizar comparaciones entre las diferentes ecuaciones siendo analizadas por medio de estadígrafos, los cuales indican el grado de error que tiene cada una (Segura y Andrade, 2008).

Se debe buscar un modelo lo más simple posible, es decir aquel que tenga el menor número de coeficientes ya que entre más cuantiosos sean los coeficientes, más variará el volumen (FAO, 1980 citado por Quintana, 1999).

Di Rienzo et al. (como se citó en Mori, 2014) menciona que los modelos pueden ser evaluados de acuerdo con los siguientes criterios: el coeficiente de determinación (R^2), y el error cuadrático medio de predicción (CME), suma de residuos de valores predichos, como los más importantes.

2.2.7 Tablas de volumen.

La tabla de volumen puede ser definida como una relación gráfica o numérica expresada por ecuaciones logarítmicas o aritméticas, capaz de expresar el volumen parcial o total de un árbol en función de sus variables dependientes e independientes como diámetro, altura, grosor de la corteza, factor de forma, entre otros (Aldana, 2008). Para Romahn y Ramírez (2010) las tablas de volúmenes son constituidas como una herramienta fundamental para la cuantificación de los volúmenes maderables así como para la formulación y ejecución de programas de manejo foresta (M. Ramirez, 2001 y J. Ramirez, 2001).

2.2.7.1 Método matemático para la elaboración de la tabla de volumen.

De la Vega y Ramírez, (2010), consideran que este método es el más preciso y confiable para este método se calculan los valores numéricos de la ecuación que define la línea de tendencia de la relación entre las variables. En las fórmulas respectivas, lo que se busca son los valores más probables de las constantes (expresados con letras minúsculas). Dichos valores se buscan por el procedimiento matemático llamado "Cuadrados mínimos", para lo cual se parte de las variables tomadas en el campo (muestra). En otras palabras, siempre se debe cubicar cierto número de árboles y tomar otros datos de las variables en el campo. Una vez encontrados los valores buscados, se reconstruye la ecuación con los valores numéricos de las constantes y se elabora la tabla dando distintos valores a las variables independientes (Doncon, 2015).

2.2.7.2 Clasificación de tablas de volumen.

En base a las variables independientes utilizadas, las tablas de volúmenes se clasifican en:

- *Tabla de volumen de una entrada.*

El volumen se obtiene en función de una sola variable (Dap), es aplicada a pequeñas áreas en donde la correlación del diámetro y la altura es muy fuerte, es decir que existe un alto nivel de homogeneidad en el desarrollo en altura de los árboles con el mismo diámetro (Aldana, 2008). Según Avery y Burkhart , (citado por Gonzales, 2003) dichas tablas son particularmente

útiles para inventarios rápidos de madera, porque las estimaciones de altura y forma no son requeridas y los árboles pueden ser medidos por especies y diámetros a la altura de pecho únicamente.

- *Tabla de volumen de dos entradas.*

Las variables independientes en este caso son el Dap y la altura. Este tipo de tabla es más precisa que la de una entrada ya que existe un parámetro más a tomar en cuenta (Imaña, 2011).

2.2.8 Factor de forma

El factor de forma es la relación entre el volumen del árbol con el volumen de un sólido geométrico como es el cilindro (Imaña, 2011). La finalidad de este factor de forma es corregir el volumen del cilindro, es decir, que es un factor de reducción para determinar con mayor precisión el volumen real de los árboles o de los rodales en pie Aldana (2008).

2.2.9 Prueba de hipótesis

Las pruebas de Hipótesis permiten comparar estadísticos de una o más muestras con respecto a los parámetros de la población Aimar (2011).

1.2.9.1 Normalidad

Para Ximénez y San Martín (citado por Rodríguez, Gutiérrez, y Pozo, 2007) se entiende por normalidad el ajuste de los datos, en mayor o menor medida, a la curva normal; en donde el número de observaciones hayan sido aleatoriamente extraídas y sean independientes entre sí.

2.2.9.2 Prueba de Kolmogorov Smirnov

Esta prueba resulta útil para determinar el grado de acuerdo entre la distribución de un conjunto de valores de una muestra (valores observados) y alguna distribución teórica (valores esperados). Por tanto, al igual que la técnica Ji cuadrado, se utiliza como prueba de bondad de ajuste, es decir, para decidir acerca de cuándo un conjunto de observaciones se ajusta a una distribución de probabilidad dada. (Rodríguez, Gutiérrez, y Pozo, 2007). Para elegir la hipótesis a tomar se realiza la comparación de estos valores esperados y observados en donde se espera

que las diferencias sean mínimas.

Una vez realizada esta prueba se analiza los resultados en donde, si el p-valor es mayor a 0.05 entonces existe normalidad, pero si el p-valor es menor al 0.05 se determinará que no se encuentra una distribución normal entre los datos.

2.2.9.3 Prueba de Z

La prueba de Z es un estadístico en el cual se puede tomar una decisión sobre la hipótesis que se debe tomar. Esto se realiza después de un análisis en donde el p-valor nos indicara si se elige la hipótesis nula o alterna. Si el p-valor es menor al 0,05, entonces se optaría por la hipótesis nula, debido a que esto quiere decir que no hay diferencias significativas, pero si el p-valor es mayor al 0,05, entonces la hipótesis alterna sería la mejor opción.

2.2.9.4 Prueba de sesgo (BIAS)

Proporciona información sobre la tendencia del modelo a sobrestimar o subestimar una variable, es decir que cuantifica el error sistemático del modelo (Delgado, 2017).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Descripción del sitio

3.1.1 Ubicación Política

El presente estudio se realizó en la provincia de Imbabura, cantón Cotacachi, en las parroquias Plaza Gutiérrez y 6 de julio de Cuellaje las cuales están dentro de la zona de Intag. Los lugares específicos se encuentran situados en la comunidad de La Delicia perteneciente a la parroquia de Plaza Gutiérrez y las comunidades de La Loma y El Rosario pertenecientes a la parroquia 6 de Julio de Cuellaje.

3.1.2 Ubicación geográfica

En la Tabla 2 se muestra la ubicación geográfica de cada una de las comunidades la cual es presentada a continuación

Tabla 2.

Coordenadas geográficas de los sitios.

Sitio	Coordenadas geográficas
La Delicia	Latitud N 00° 21' 46,8"; longitud W 77° 27' 24,8"
El Rosario	Latitud N 00° 23' 48,3"; longitud W 77° 31' 56,2".
La Loma	Latitud N 00° 27' 24,9" y longitud W 78°31'28,7".

Nota. Comunidades que fueron parte del estudio con sus respectivos puntos de ubicación.

Fuente: Autoría Propia

3.2. Datos climáticos

3.2.1. Temperatura

Según el IGM, (2013) (mencionado por el PDOT Cuellaje, 2015) en las comunidades de La Loma y El Rosario pertenecientes a Cuellaje, existe una variación de temperatura. Esto ocurre como consecuencia de las diferencias de altitud sobre el nivel del mar, las temperaturas en este territorio van desde los 10 °C en la parte alta, y un máximo de 20 °C en la parte baja.

La Delicia perteneciente a la parroquia de Plaza Gutiérrez, debido a que este lugar se encuentra en una zona de transición muestra un clima templado húmedo con temperaturas que van desde los 10 a 25°C (INAMHI, 2018).

3.2.2. Precipitación

En la parroquia de Cuellaje la precipitación es de 1500 a 3000 mm, mientras que en la parroquia de Plaza Gutiérrez se presenta una precipitación que de 1500 a 2000 mm (INAMHI, 2018).

3.2.3. Pendiente

El Rosario y La Loma poseen un relieve montañoso con pendientes mayores al 70%. (PDOT Cuellaje, 2015). Para La Delicia se identifica que el territorio tiene una topografía irregular y forma pendientes tipo montañoso, escarpado y colinado (PDOT, Plaza Gutiérrez, 2015).

3.4. Materiales y equipos

Para la presente investigación fue necesario contar con herramientas tales como lo detalla la tabla 3.

Tabla 3.

Materiales, equipos y software

MATERIALES	EQUIPOS	SOFTWARE
Cinta métrica	Cámara fotográfica	Excel
Cinta diamétrica	GPS Garmin	InfoStat
Libreta de campo	Computador	ArcGIS

Nota: Los materiales, equipos y software permitieron el desarrollo de los objetivos propuestos en la presente investigación.

Fuente: Autoría propia

3.5. Metodología

3.5.1 Mapa de ubicación.

Para la elaboración del mapa de ubicación se precisaron los puntos localizados en la Tabla 2, los cuales fueron obtenidos mediante el GPS. Dicho mapa fue elaborado en el software ArcGis el cual se muestra en la Figura 1.

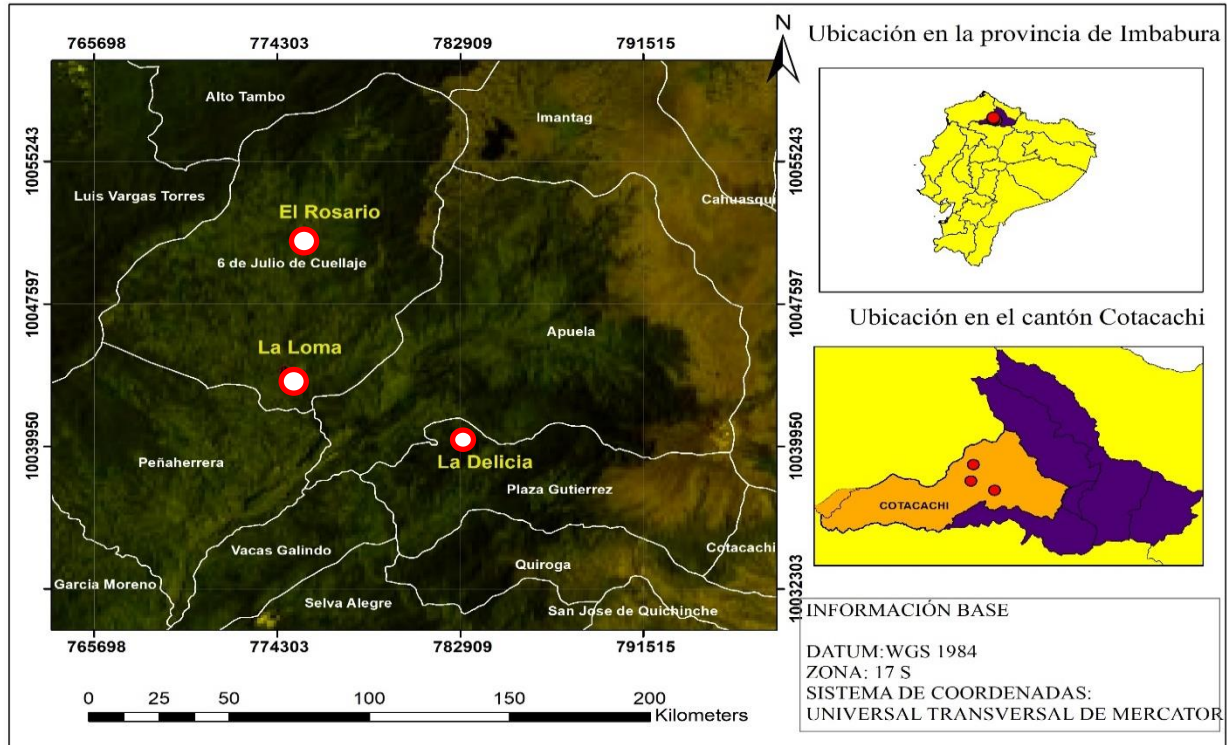


Figura 1. Mapa de ubicación de los sitios

Fuente: Autoría propia

3.5.2 Selección del área

Para la presente investigación se seleccionaron tres plantaciones en diferentes comunidades (La Delicia, La Loma y El Rosario), en las cuales se estaban ejecutando los programas de corta previamente aprobados por el MAG.

En la Tabla 4 se puede apreciar el número de árboles que se obtuvo por cada plantación los cuales presentaban las mejores características.

Tabla 4.

Número de individuos como parte del estudio

Sector	N° de árboles apeados
La Delicia	20
La Loma	40
El Rosario	30
Total	90

Nota. Árboles apeados para cada sitio.

Fuente: Autoría propia

De acuerdo a la disponibilidad de individuos (Tabla 4) y su representatividad de clase diamétrica como también la semejanza de las condiciones biofísicas, se delimitaron los lugares propicios para la obtención de datos, cuyos individuos presentan edades de 4, 10 y 15 años.

Se tomaron los siguientes parámetros para la selección de los individuos:

- Presentar rectitud del fuste
- Buen estado fitosanitario
- Árboles sin rajaduras al momento del apeo

3.5.3 Muestreo

Según lo mencionado por Quintana (1999), se aplicó un muestreo selectivo, ya que el empleo de árboles por tamaño es más eficiente que un muestreo al azar. El tamaño fue definido de acuerdo al criterio establecido por FAO (1980) citado por Quintana (1999) quien menciona que el tamaño de la muestra se encuentra en un rango de 80 – 150 árboles representando todo el rango de diámetros. Se tomó árboles desde los 10 cm de Dap, hasta individuos con 50 cm de

Dap o superiores, en donde se recolectaron datos de 10 árboles para cada clase diamétrica.

Tabla 5.

Número de árboles para cada clase diamétrica

Clase diamétrica	Número de árboles por clase diamétrica
10 – 14,99	10
15 – 19,99	10
20 – 24,99	10
25 – 29,99	10
30 – 34,99	10
35 – 39,99	10
40 – 44,99	10
45 – 49,99	10
>50	10
Total	90

Nota. Se utilizaron un total de 10 árboles por cada clase diamétrica.

Fuente: Autoría propia

Para la muestra de la presente investigación se tomaron 90 árboles apeados ya que estos cumplían con las condiciones óptimas especificadas anteriormente y además este valor se encuentra dentro del rango permitido. El intervalo de cada clase diamétrica se determinó en 5cm, el cual está definido como el intervalo de clase más específico para este tipo de investigaciones. Para este efecto se obtuvieron 9 clases diamétricas como se puede observar en la tabla 5.

3.5.4 Cubicación

3.5.4.1 Proceso para la cubicación

Se midió el Dap a cada uno de los individuos previo al apeo, una vez apeado el árbol, mediante una cinta métrica se midió la altura total y comercial del fuste cuyos datos fueron

registrados en la hoja de campo.

Una vez obtenidos estos datos se procedió a seccionar el fuste en longitudes de 2 metros. Se midieron los diámetros mayor y menor de cada troza utilizando una cinta diamétrica en cada una de las trozas (Figura 2), empezando desde el tocón hasta llegar a un diámetro de 10 centímetros de la parte superior el cual está definido como el diámetro mínimo utilizable.

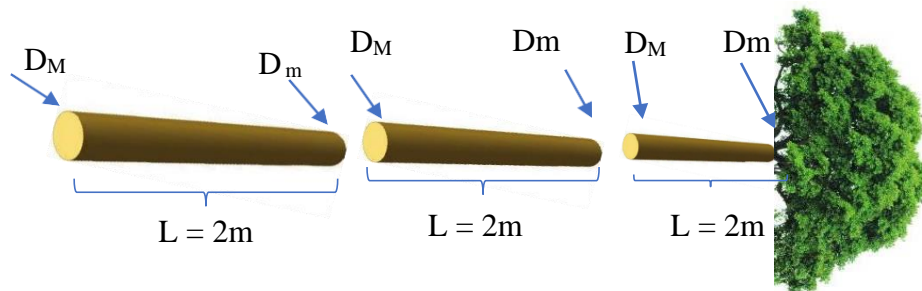


Figura 2. Árbol apeado y seccionado

Fuente: Autoría propia

Mediante la fórmula de Smalian (Ec. 2) se obtuvieron volúmenes en cada troza y por ende el volumen comercial del árbol el cual es el resultado de la suma de cada troza.

$$V = L * \frac{(AB_1 + AB_2 + AB_3 \dots + AB_n)}{2} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

V = Volumen del árbol

L = Longitud (2m)

AB = Área basal de las secciones

$$AB = \frac{\pi * Dap^2}{4}$$

Se digitalizaron los datos en una hoja electrónica de Excel, para sus respectivos cálculos y análisis.

3.5.5 Elaboración de modelos alométricos

Se realizó un análisis de regresión tomando en cuenta la base de datos generada a partir de las cubicaciones de la etapa de campo. Los modelos utilizados para la obtención de la tabla de una entrada fueron los presentados en la tabla 6, mientras que para la tabla de volumen de doble entrada se utilizaron los modelos propuestos en la tabla 7.

Tabla 6.

Modelos alométricos con una variable

Nombre	Ecuación
Hohenadl – Krenn	$V = a + b * Dap + c * Dap^2$
Husch	$\ln V = a + b * \log Dap$
Kopezky-Gehrhardt	$V = a + b Dap^2$
Brenac	$\log V = a + b * \log Dap + c \left(\frac{1}{Dap}\right)$

Nota. Los modelos mostrados en esta tabla son los más aptos para este tipo de investigaciones.

Fuente: (Imaña, 2011)

Las ecuaciones presentadas en la Tabla 6, sirvieron como base para elaborar el modelo matemático que dio paso a la creación de la tabla de volumen de una sola entrada.

Tabla 7.

Modelos alométricos con dos variables

Nombre	Ecuación
Spurr	$V = a \text{ Dap}^2 * Hc$
Spurr combinada	$V = a + b * \text{Dap}^2 * Hc$
Stoate	$V = a + b * \text{Dap}^2 + c * \text{Dap}^2 H + d * Hc$
Meyer	$V = a + b \text{Dap} + c \text{Dap}^2 * Hc + d \text{Dap} * Hc + e * \text{Dap}^2 * Hc - f Hc$
Schumacher-Hall	$\log V = a + b * \log \text{Dap} + c * \log * Hc$
Ogaya	$V = \text{Dap}^2 (a + b * H)$

Nota. Estos modelos utilizan dos variables tanto el Dap como la altura del árbol.

Fuente: Autoría propia

Para el análisis de variables dependientes e independientes se utilizó el programa estadístico InfoStat 2019. Se obtuvieron los coeficientes estadísticos que definieron el modelo matemático que mejor se ajustó al comportamiento de las variables y que determinaron un volumen más exacto de los individuos.

3.5.5.1. Selección del modelo de mejor ajuste

La selección del modelo con mayor ajuste se realizó mediante los criterios presentados en la Tabla 8, los cuales mostrarán cuál de las seis ecuaciones presenta el mejor ajuste para el cálculo del volumen y de esa manera poder construir la tabla volumétrica de una y doble entrada.

Tabla 8.

Criterios para selección del mejor modelo

Nombre	Criterio
Coeficiente de determinación	R^2
Suma de cuadrados de los residuos	PRESS
Cuadrado medio del error	CME

Fuente: Autoría propia

Para la selección del mejor modelo, se sometieron al análisis un total de 10 ecuaciones (cuatro con una variable y seis con dos variables) para obtener el volumen, los cuales fueron sometidos a una serie de criterios como los que están presentados en la Tabla 8. En donde para la seleccionar la mejor ecuación su R^2 deberá ser lo más cercano a 1, la suma de cuadrados de residuos debe tener un valor mínimo al igual que el cuadrado medio del error.

3.5.5.2. Validación de la mejor ecuación

Para validar la ecuación seleccionada se realizó una prueba de sesgo conocida como BIAS, la cual muestra si existe una sobrestimación o subestimación del volumen y de esta manera optar por la ecuación que presente linealidad entre sus datos.

3.5.5.3 Comparación de observaciones reales versus las estimaciones de los mejores modelos

Una vez seleccionado el mejor modelo de mayor ajuste, se graficaron los valores estimados (x) para cada modelo versus los observados en los árboles muestreados (y) y de esta manera representar la variabilidad entre estos dos volúmenes.

3.5.5.4 Despliegue de tablas de volumen

Una vez obtenidas las dos tablas, se procedió a realizar una comparación entre los volúmenes que arrojan dichas tablas con el fin de conocer cuál es la más exacta en cuanto a sus valores del volumen.

3.5.6 Determinar un factor para *A. nepalensis* D Don.

Utilizando los volúmenes de las trozas cubicadas para las tablas de volumen, se procedió a calcular el factor de forma para la especie en estudio.

3.5.6.1 Cálculo del volumen del cilindro.

Para calcular el volumen del cilindro se utilizó la Ec. 3, la cual es presentada a continuación:

$$V_c = \frac{\pi D_{ap}^2}{4} * H_c \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

V_c = volumen del cilindro

H_c = altura comercial del árbol

D_{ap} = diámetro a 1,30m.

$\pi = 3.1416$

3.5.6.2 Volumen real de árboles individuales.

Para obtener el volumen real de cada individuo se aplicó la Ec. 2, de esta manera se puede calcular el volumen comercial del árbol para posteriormente relacionarlo con el volumen del cilindro.

3.5.6.3 Cálculo del factor de forma.

Se calculó el factor de forma realizando una división entre el volumen real de los árboles individuales y el volumen del cilindro como lo muestra la Ec. 4.

$$FF = \frac{V_r}{V_c} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

FF= Factor de forma

V_r= Volumen real del árbol

V_c= Volumen del cilindro

Posteriormente se comparó el factor de forma calculado con el factor de forma que utiliza el MAG.

3.5.6.2. Parámetros para validar el factor de forma determinado.

- Prueba de Z

Para seleccionar una de las dos hipótesis planteadas se realizó por medio del software Excel, una prueba de medias utilizando la prueba de Z como estadístico.

- Prueba de Normalidad Kolmogorov Smirnov

La prueba de normalidad se realizó en el software estadístico InfoStat con el fin de conocer si existe o no una distribución normal entre los volúmenes calculados con el factor de forma general (0,7) y el volumen calculado con el factor de forma determinado en la investigación para tomar una decisión con respecto a las hipótesis.

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

Los individuos dentro de las plantaciones estaban distribuidos a una densidad de 3 x 4 en edades de 4, 10 y 15 años, se obtuvo un total de 9 clases diamétricas tomando 10 árboles para cada una de las clases diamétricas (tabla 5). Los volúmenes reales por cada clase diamétrica fueron los siguientes:

Tabla 9.

Resultados promedio de los árboles muestreados

N° árboles	Clase diamétrica (m)	Diámetro (m)	Altura total (m)	Altura comercial (m)	Volumen (m ³)
10	0,10 - 0,149	0,12	8,47	5,88	0,04
10	0,15- 0,199	0,16	14,48	8,87	0,14
10	0,20- 0,249	0,22	15,69	10,76	0,27
10	0,25 – 0,299	0,27	16,05	11,96	0,41
10	0,30 – 0,349	0,32	18,33	11,94	0,59
10	0,35 – 0,399	0,37	19,06	12,32	0,73
10	0,40 - 0,449	0,43	19,87	12,72	1,00
10	0,45 – 0,499	0,47	19,891	12,056	1,17
10	>0,50	0,57	20,01	13,377	1,65

Nota. Promedio de cada una de las variables según su clase diamétrica.

Fuente: Autoría propia

La Tabla 9, presenta los promedios de las variables por cada clase diamétrica, para poder relacionar el volumen con el Dap y la altura. Para este efecto se elaboró graficas de dispersión con el fin de conocer el comportamiento de los valores del volumen vs los valores de Dap y altura.

4.1.1. Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico para poder relacionar las variables independientes (Dap y altura), con la variable dependiente (volumen) como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10.

Estadística descriptiva de las variables dasométricas.

Estimadores estadísticos	DAP (m)	Altura (m)	Altura comercial (m)	Volumen (m ³)
\bar{x}	0,33	16,87	11,1	0,67
S	0,14	3,9	2,71	0,52
$S_{\bar{x}}$	0,01	0,41	0,29	0,05
CV	43,15	23,12	24,39	77,55
Min	0,10	6,10	4,00	0,02
Max	0,72	23,8	17,58	2,04

Nota. \bar{x} : Medias; $S_{\bar{x}}$: Error estándar; S: Desviación estándar; CV: coeficiente de variación; Min y Max: Límites de confianza

Fuente: Autoría propia

Al analizar la Tabla 10, se puede apreciar que los valores de la desviación estándar, muestran una agrupación de datos respecto a la media. Por su parte el $S_{\bar{x}}$ muestra un valor representativo ya que, el promedio se encuentra dentro de los límites de confianza mientras que el coeficiente de variación muestra valores altos y esto puede deberse a que se trabajó con diferentes clases diamétricas.

4.2 Ecuación volumétrica para construcción de tablas de volumen.

Con los datos digitalizados en una hoja de cálculo (Microsoft Excel), se realizó los cálculos para poder obtener la ecuación (en combinación con InfoStat) que permita obtener la tabla de

volumen de una y doble entrada y de esta manera poder cumplir con el objetivo propuesto para esta investigación.

4.2.1 Selección de los mejores modelos para cálculo de volumen

Para la elaboración de la tabla de volumen de una sola entrada, se probaron cuatro modelos alométricos, de los cuales uno de ellos presentó los valores más representativos según las variables para aceptar la mejor ecuación como se describe en la Tabla 11.

Tabla 11.

Selección del mejor modelo para tabla de una entrada.

Ecuación	R ²	CME	PRESS
$V = -0,12 + 0,9Dap + 2,76Dap^2$	0,98	0,004	0,34
$\log V = 0,76 + 2,35\log Dap$	0,95	0,01	1,53
$V = 0,02 + 3,98Dap^2$	0,96	0,005	0,40
$\log V = 0,7 + 1,03 * \log Dap - 0,14 \left(\frac{1}{Dap}\right)$	0,97	0,01	0,45

Nota. Selección del mejor modelo con una variable, según algunos criterios para su elección.

Fuente: Autoría propia

Se analizaron cuatro modelos alométricos para poder determinar cuál de estos es el que presenta las mejores características en los criterios de selección. Como se puede apreciar en la Tabla 11, la ecuación que presentó los mejores resultados en cuanto a sus criterios de selección fue la establecida por Hohenadl – Krenn, ya que presentó valores más acertados en comparación con las otras ecuaciones, por lo cual se deduce que es la mejor opción para el cálculo del volumen, y para su comprobación será sometida a la prueba de sesgo BIAS.

Tabla 12.

Selección del mejor modelo para tabla de doble entrada.

Ecuación	R²	CME	PRESS
$V = 0,29Dap^2Hc$	0,95	0,01	1,14
$V = 0,07 + 0,29Dap^2 Hc$	0,95	0,01	0,70
$V = -0,15 - 4,22Dap^2 - 0,04Dap^2Hc + 0,02Hc$	0,98	0,03	4,17
$V = 0,28 - 3,91Dap + 10,56Dap^2 + 0,33DapHc - 0,56Dap^2Hc - 0,02Hc$	0,98	0,003	0,26
$\log V = -0,67 + 1,82\log Dap + 1,12 \log Hc$	0,98	0,01	9,04
$V = Dap^2(4,71 + 0,02Hc)$	0,41	0,10	27,34

Nota. Selección del mejor modelo con dos variables, según algunos criterios para su elección.

Fuente: Autoría propia

Cada una de las ecuaciones fue sometida a un análisis de regresión y posteriormente evaluadas bajo criterios de validación de modelos alométricos presentados en la Tabla 8. La ecuación que presentó mejor ajuste fue la establecida por Meyer, ya que presenta los mejores valores para cada uno de sus criterios como se muestra en la tabla 12. La ecuación que cuyos criterios no fueron representativos fue la de Ogaya ya que sus resultados fueron poco convincentes.

En el estudio elaborado por Kometter, (2014); se obtuvo una ecuación cuadrática (basado en el modelo Hohenadl-Krenn), para la tabla de volumen de una entrada $V = 0.0955914-$

$0.0165154Dap+0.00113746Dap^2$ para *Tectona grandis*, semejante a la que se obtuvo en esta investigación $V = -0,12 + 0,9Dap + 2,76Dap^2$. Las diferencias entre estas dos ecuaciones son en cuanto a sus criterios, debido a que el R^2 para *Tectona grandis* es de 0,90 y su CME es de 0,01; mientras que para *Alnus nepalensis* D. Don, se obtuvo un R^2 de 0,98, el cual es muy cercano a 1, y cuyo CME fue de 0,004 el cual muestra que el error es muy bajo.

Quintana, (1999) menciona que los modelos cuadráticos y logarítmicos son los que mejor responden a variables como Dap y altura. En su investigación obtuvo el modelo volumétrico $V= 0,000016737Dap^2Hc + 0,00256Dap^2$, con el fin de elaborar la tabla de volumen de doble entrada para *Alnus jorullensis*. Dicho modelo presentó una distribución parabólica ya que resultó ser una ecuación cuadrática tomando en cuenta que sus datos fueron tomados en un bosque secundario, mientras que los árboles de la presente investigación fueron tomados en plantaciones forestales. Al igual que el modelo anterior, se estableció la ecuación $0,28 - 3,91Dap + 10,56Dap^2 + 0,33DapHc - 0,56Dap^2Hc - 0,02Hc$, la cual también resultó ser cuadrática y seleccionada como la mejor en la presente investigación. El modelo de Quintana muestra un R^2 de 0,95 y un CME 0,2, por otro lado, el modelo determinado en este estudio, mostró un R^2 de 0,98 y un CME de 0,004 por lo cual se puede decir que el mejor modelo resultó ser el establecido en este documento.

4.2.2 Validación del modelo seleccionado

4.2.2.1 Prueba de sesgos (BIAS).

Mediante el programa Microsoft Office Excel, se pudo realizar esta prueba, para determinar cuál ecuación es la que presenta un menor sesgo, y de esta manera ser elegida como la más exacta para el cálculo de volumen. Se realizó tanto en las ecuaciones de la tabla 11 y 12 respectivamente. Los resultados que presentaron menor sesgo fueron expresados en las figuras 3 y 4 respectivamente como se muestran a continuación:

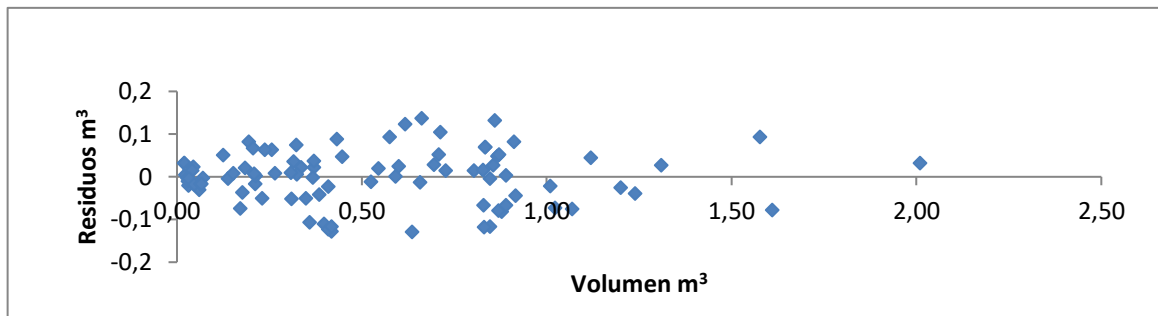


Figura 3. Dispersión de los residuos de la ecuación Hohenadl-Krenn
Fuente: Autoría propia

Como se muestra en la Figura 3, no existe una tendenciosidad de los puntos de la variable dependiente, pero existe un equilibrio entre los puntos de arriba y debajo de la recta de referencia. Esta información proporciona mayor credibilidad para elegir esta ecuación con el objetivo de obtener un volumen lo más cercano a la realidad.

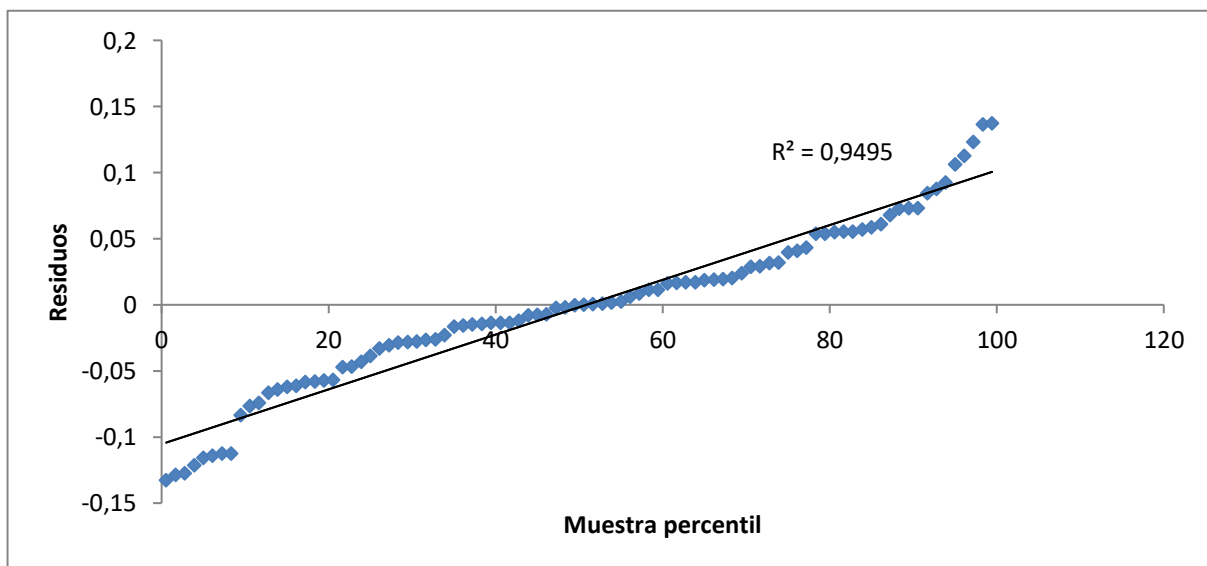


Figura 4. Probabilidad normal para Hohenadl-Krenn
Fuente: Autoría propia

En la figura 4, se muestra que existe una distribución uniforme entre los datos. Con esta afirmación se puede decir que el modelo seleccionado es capaz de calcular un volumen casi exacto con un sesgo mínimo.

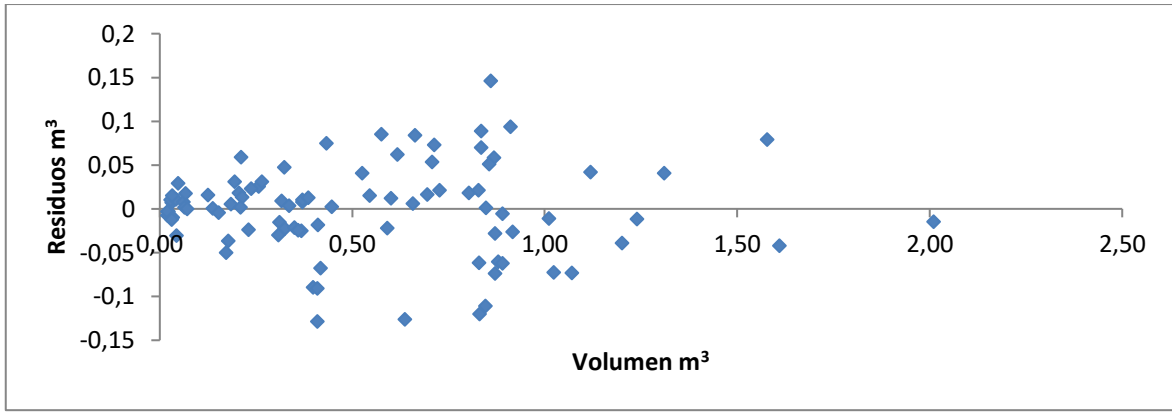


Figura 5. Dispersión de los residuos de la ecuación Meyer
Fuente: Autoría propia

La ecuación de Meyer, como se mencionó anteriormente toma en cuenta dos variables independientes para el análisis de regresión, una variable dependiente que en este caso es el volumen, mientras que las variables independientes son el diámetro y la altura comercial. Al igual que en la ecuación de Hohenadl-Krenn se distribuyen de forma proporcional sin residuos atípicos.

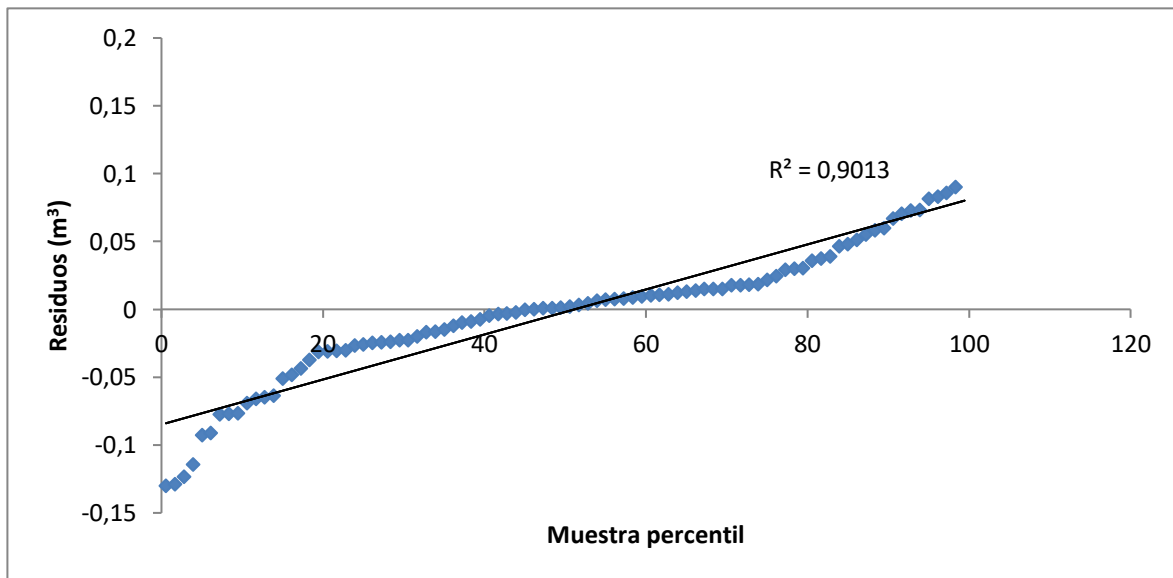


Figura 6. Probabilidad normal para el modelo Meyer
Fuente: Autoría propia

En cuanto a los residuos de los dos modelos evaluados, se observa una distribución homogénea de los datos hacia abajo, hacia arriba y sobre el eje de la ordenada. Lo cual es de

gran importancia para garantizar la confiabilidad de las estimaciones, ya que muestra que no es tendenciosa en subestimar o sobreestimar el volumen.

4.2.2.2. Volumen observado vs Volumen predicho

Se realizó la comparación del volumen observado con el predicho y como se puede apreciar en las Figuras 3 y 4. Los valores casi coinciden entre las dos variables por lo cual se puede decir que el volumen calculado es semejante al volumen real.

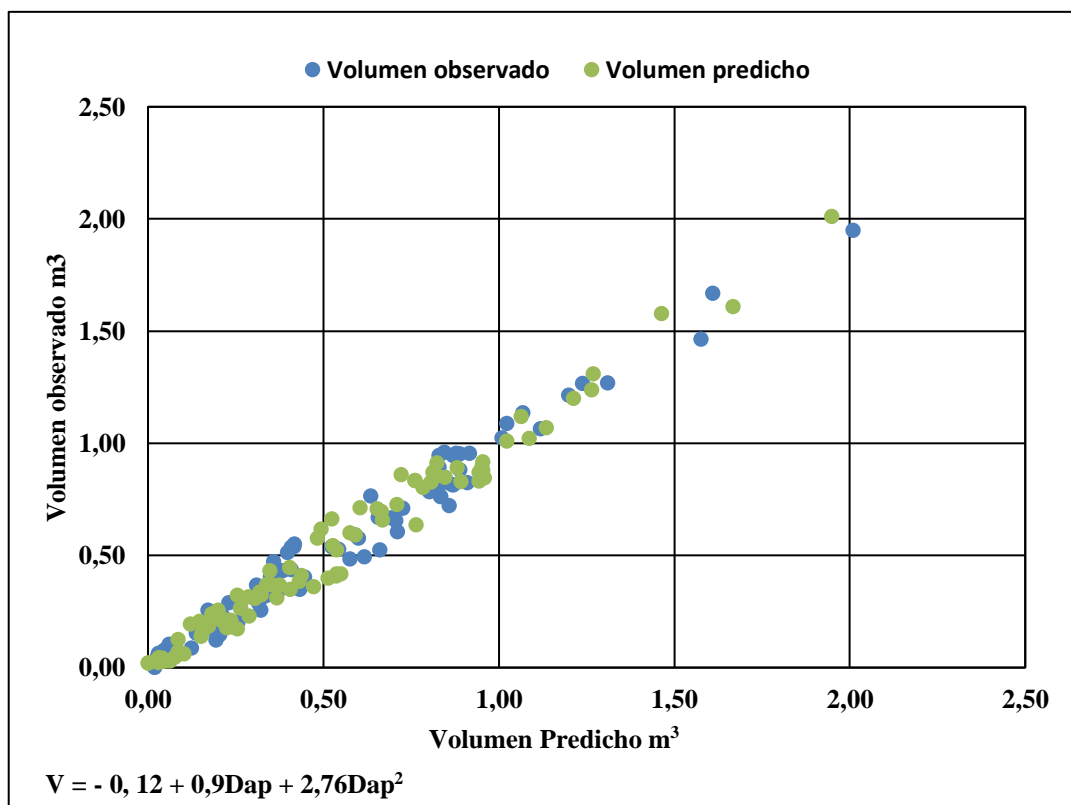


Figura 7. Comparación de precisión del volumen observado con el predicho (Hohennadl-Krenn)
Fuente: Autoría propia

En la Figura 3 se observa como la nube de datos muestra una distribución agrupada, por lo cual se puede afirmar que la ecuación obtenida es la que presento mejor ajuste entre los dos volúmenes. El volumen calculado mediante la ecuación propuesta por Hohennadl-Krenn, presenta resultados muy cercanos a la realidad como se demostró en la Figura 3.

Para la ecuación de dos variables se realizó el mismo procedimiento con el fin demostrar si existe una agrupación de datos entre los dos volúmenes tanto el observado como el predicho como lo muestra la Figura 4.

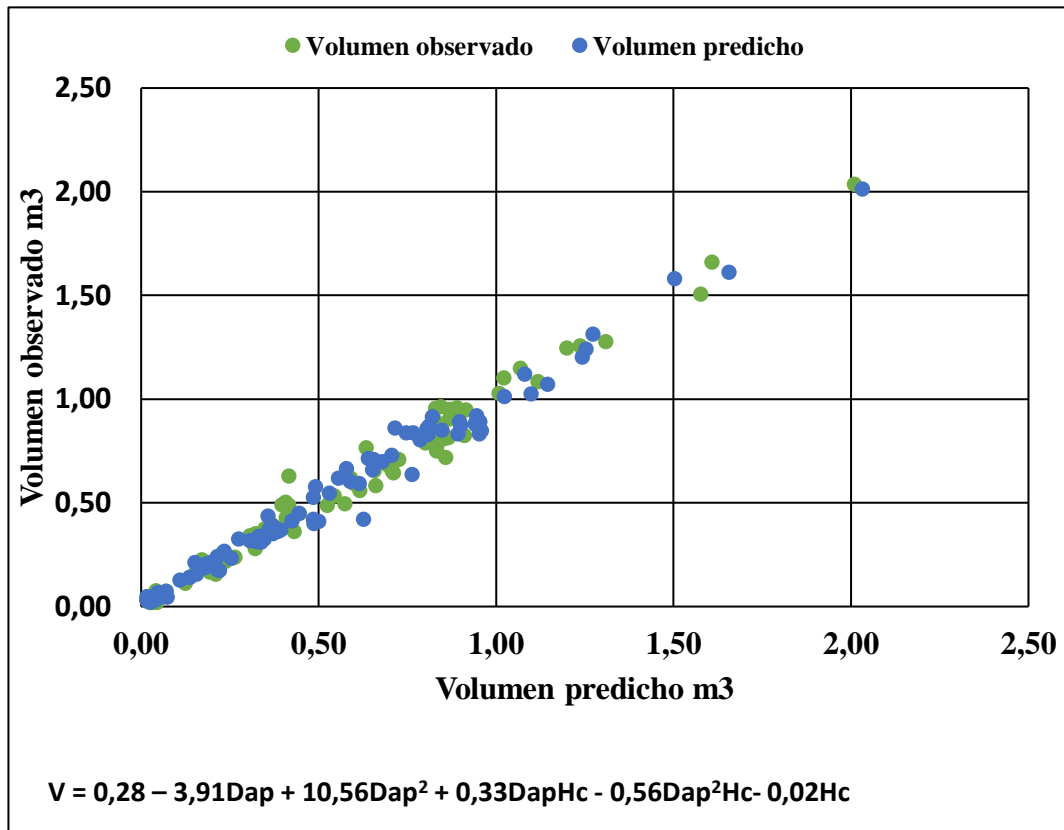


Figura 8. Comparación de precisión del volumen observado con el volumen predicho (Meyer)
Fuente: Autoría propia

En la Figura 4, se puede apreciar como los volúmenes predichos para el modelo de Meyer no presentan gran diferencia sobre los observados ya que siguen una misma línea de tendencia y no muestra una dispersión considerable. A diferencia del modelo de Hohennadl-Krenn, en esta ecuación se presenta una variable más, por lo tanto, se puede decir que por esta razón los datos se ven aún más agrupados en la Figura 4, que en la nube de datos de la Figura 3.

A continuación, se presenta la tabla de volumen de una entrada (Tabla 13) y doble entrada (Tabla 14), determinadas en la presente investigación.

Tabla 13.

Tabla de volumen de una sola entrada para Alnus nepalensis D. Don.

Dap	Volumen calculado
0,1	0,00
0,11	0,01
0,12	0,03
0,13	0,04
0,14	0,06
0,15	0,08
0,16	0,09
0,17	0,11
0,18	0,13
0,19	0,15
0,2	0,17
0,21	0,19
0,22	0,21
0,23	0,23
0,24	0,25
0,25	0,28
0,26	0,30
0,27	0,32
0,28	0,35
0,29	0,37
0,3	0,40
0,31	0,42
0,32	0,45
0,33	0,48
0,34	0,51
0,35	0,53
0,36	0,56
0,37	0,59
0,38	0,62
0,39	0,65
0,4	0,68
0,41	0,71
0,42	0,74
0,43	0,78
0,44	0,81
0,45	0,84
0,46	0,88
0,47	0,91
0,48	0,95
0,49	0,98
0,5	1,02
0,51	1,06
0,52	1,09
0,53	1,13
0,54	1,17
0,55	1,21
0,56	1,25
0,57	1,29
0,58	1,33
0,59	1,37
0,6	1,41
0,61	1,46
0,62	1,50
0,63	1,54
0,64	1,59
0,65	1,63
0,66	1,68
0,67	1,72
0,68	1,77
0,69	1,82
0,7	1,86
0,71	1,91
0,72	1,96

Nota. Tabla de volumen de una entrada utilizando únicamente el Dap.

Fuente: Autoría propia

Tabla 14.
Tabla de volumen de doble entrada para *Alnus nepalensis* D. Don.

DAP (m)	Altura comercial (m)																			
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
0,10	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07														
0,11	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07														
0,12	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08														
0,13	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08														
0,14	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,09														
0,15	0,02	0,03	0,05	0,07	0,08	0,10	0,12	0,13												
0,16	0,02	0,04	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15												
0,17	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16												
0,18	0,02	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17												
0,19	0,03	0,05	0,08	0,10	0,12	0,14	0,17	0,19												
0,20				0,11	0,13	0,16	0,18	0,20												
0,21				0,12	0,15	0,17	0,20	0,22												
0,22				0,13	0,16	0,19	0,21	0,24												
0,23				0,15	0,18	0,20	0,23	0,25												
0,24				0,17	0,19	0,22	0,25	0,27												
0,25					0,21	0,24	0,27	0,29	0,32	0,35	0,38									
0,26					0,23	0,26	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40									
0,27					0,25	0,28	0,31	0,33	0,36	0,39	0,42									
0,28					0,27	0,30	0,33	0,36	0,38	0,41	0,44									
0,29					0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,43	0,46									
0,30						0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49									
0,31						0,37	0,40	0,42	0,45	0,48	0,51									
0,32						0,39	0,42	0,45	0,48	0,51	0,53									
0,33						0,42	0,45	0,47	0,50	0,53	0,56									
0,34						0,45	0,47	0,50	0,53	0,56	0,58									
0,35						0,47	0,50	0,53	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,72	0,74				
0,36						0,50	0,53	0,56	0,58	0,61	0,63	0,66	0,69	0,71	0,74	0,77				
0,37						0,53	0,56	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,74	0,76	0,79				
0,38						0,56	0,59	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,74	0,76	0,79	0,81				
0,39						0,60	0,62	0,64	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,78	0,81	0,83				
0,40						0,63	0,65	0,67	0,70	0,72	0,74	0,76	0,79	0,81	0,83	0,85				
0,41						0,66	0,68	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,81	0,83	0,85	0,88				
0,42						0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84	0,86	0,88	0,90				
0,43						0,73	0,75	0,77	0,79	0,81	0,83	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92				
0,44						0,77	0,79	0,81	0,82	0,84	0,86	0,87	0,89	0,91	0,92	0,94				
0,45						0,81	0,83	0,84	0,86	0,87	0,89	0,90	0,92	0,93	0,95	0,96				
0,46						0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,92	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98				
0,47						0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00				
0,48						0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,01	1,02				
0,49						0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,04				
0,50						1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07				
0,51						1,07	1,07	1,07	1,07	1,08	1,08	1,08	1,08	1,09	1,09	1,09				
0,52						1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11				
0,53						1,17	1,17	1,16	1,16	1,15	1,15	1,15	1,14	1,14	1,14	1,13				
0,55							1,21	1,21	1,20	1,19	1,19	1,18	1,18	1,17	1,16	1,16				
0,56							1,26	1,25	1,25	1,24	1,23	1,22	1,21	1,20	1,19	1,18				
0,57							1,32	1,30	1,29	1,28	1,26	1,25	1,24	1,23	1,21	1,20				
0,58							1,37	1,35	1,34	1,32	1,30	1,29	1,27	1,25	1,24	1,22				
0,59							1,42	1,40	1,38	1,36	1,34	1,32	1,30	1,28	1,26	1,24				
0,60							1,48	1,45	1,43	1,41	1,38	1,36	1,33	1,31	1,29	1,26				
0,61							1,53	1,50	1,48	1,45	1,42	1,39	1,37	1,34	1,31	1,28				
0,62							1,59	1,56	1,53	1,49	1,46	1,43	1,40	1,37	1,34	1,31				
0,63							1,65	1,61	1,57	1,54	1,50	1,47	1,43	1,40	1,36	1,33				
0,64							1,70	1,66	1,63	1,59	1,55	1,51	1,47	1,43	1,39	1,35				
0,66							1,76	1,72	1,68	1,63	1,59	1,54	1,50	1,46	1,41	1,37				
0,67							1,83	1,78	1,73	1,68	1,63	1,58	1,53	1,48	1,44	1,39				
0,68							1,89	1,83	1,78	1,73	1,67	1,62	1,57	1,51	1,46	1,41				
0,69							1,95	1,89	1,83	1,78	1,72	1,66	1,60	1,54	1,49	1,43				
0,70							2,01	1,95	1,89	1,83	1,76	1,70	1,64	1,57	1,51	1,45				
0,71							2,08	2,01	1,94	1,88	1,81	1,74	1,67	1,60	1,54	1,47				
0,72							2,15	2,07	2,00	1,93	1,85	1,78	1,71	1,63	1,56	1,49				

Nota. Tabla de volumen de doble entrada utilizando Dap y Hc

Fuente: Autoría propia

Para la tabla de volumen de una entrada (Tabla 13) se aplicó la ecuación: $V = -0,12 + 0,9Dap + 2,76Dap^2$; mientras que para la tabla de volumen de doble entrada (Tabla 14) se calculó el volumen, por medio de la ecuación: $V = 0,28 - 3,91Dap + 10,56Dap^2 + 0,33DapHc - 0,56Dap^2Hc - 0,02Hc$. Estas ecuaciones fueron las seleccionadas por tener los mejores ajustes y el mínimo de errores.

Las tablas de volumen creadas en esta investigación, puede predecir volúmenes desde los 10 cm de Dap en el caso de la tabla de volumen de una entrada. En la tabla de volumen de doble entrada se puede conocer el volumen con un Dap desde los 10 cm y una altura comercial desde los 5 m.

4.3 Determinación del Factor de forma para la especie *Alnus nepalensis* D. Don

Con los datos obtenidos en campo se procedió a realizar la tabla 7, tomando como referencia 90 árboles de aliso en la misma que se aplicó la fórmula de Smalian, obteniendo los factores de forma de dicha especie.

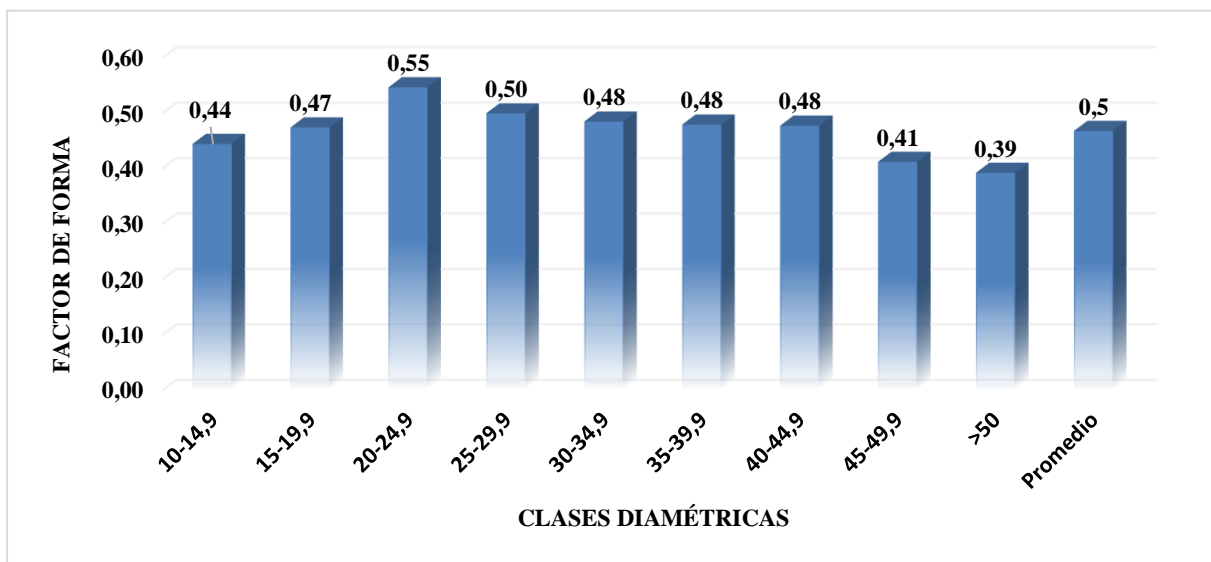


Figura 9. Resumen del cálculo del factor de forma por clase diamétrica
Fuente: Autoría propia

En la figura 9, se puede apreciar que el factor de forma obtenido para *Alnus nepalensis* D. Don es 0,5, dicho valor es inferior al utilizado por el MAG por lo tanto se aplicó una prueba

de medias para comprobar las diferencias entre el factor de forma calculado 0,5 y el factor de forma aplicado por el MAG 0,7.

4.3.1. Comparación de volúmenes

Una vez calculado el factor de forma, por medio de la ecuación se comparó el volumen de cada árbol utilizando el factor de forma calculado y el utilizado por el MAG como lo muestra la tabla 15.

Tabla 15. Comparación de volúmenes con diferentes factores de forma

Volumen (f.f MAG=0,7)	Volumen (f.f=0,5)
76,58	54,70

Nota. Diferencia de volúmenes con dos factores de forma.

Fuente. Autoría propia

El factor de forma calculado en la presente investigación (0,5) es inferior al factor de forma general proporcionado por el MAG (0,7), esto puede ser causado por el número de individuos tomados para la realización de este estudio, por la forma propia del árbol o por las características climáticas de sitio. Por este motivo es necesario conocer cuanta variabilidad existe y si esta es o no es significativa.

El factor de forma para *Alnus nepalensis* D. Don, resulto ser muy semejante al factor de forma de *Alnus acuminata* H. B. K. debido a que en el estudio realizado por Ospina *et al.* (2005), presenta un coeficiente morfico de 0,54; lo cual podria deberse a que las dos presentan conicidad en su forma.

En cuanto al estudio realizado por Sanchez, (2012), se presentaron factores de forma para dos especies como se puede apreciar en la Tabla 16, presentada a continuacion:

Tabla 16.*Factores de forma de diferentes especies*

Especie	Factor de forma
<i>Cedrelinga cateniformes</i>	0,9
<i>Cordia alliodora</i>	0,8

Fuente. Autoría propia

Estos dos factores resultaron ser mayores al 0,7 (que es utilizado en instituciones como Ministerio de agricultura y Ganadería y por el Ministerio del Ambiente Ecuador), y especialmente al factor de forma determinado en este estudio. Esto puede deberse a la forma de la especie ya que pueden ser neiloide, cónicas, paraboloides y cilíndricas.

4.4 Determinación de las hipótesis

Una vez obtenido el volumen calculado con el factor de forma propuesto por el MAG y el volumen determinado en la investigación, se realizaron pruebas para su validación. Entre las pruebas que se utilizaron fueron Prueba de Z, Prueba de Kolmogorov y de esta manera se pudo conocer si existe o no normalidad entre los dos volúmenes.

4.4.1. Prueba de normalidad (Kolmogorov Smirnov)

En la tabla 17 se presenta los resultados de la prueba de normalidad de los datos para el factor de forma.

Tabla 17.*Prueba Kolmogorov - Smirnov*

Variable	Ajuste	Media	Varianza	n	Estadís.	p-valor
Volumen	(0,76; 0,14)	0,76	0,15	180	0,05	0,53

Nota. Resultados de la prueba Kolmogorov-Smirnov.**Fuente:** Autoría propia

Como se puede apreciar en la Tabla 17, el p – valor es superior al estadístico 0,05 por lo tanto las diferencias entre los volúmenes son significativas por lo cual se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

4.4.2 Prueba de z para comparación de medias

Para la comparación de medias, se realizó una prueba de z ya que en esta se puede abarcar un mayor número de datos en comparación con la prueba t de student.

Tabla 18.

Prueba de z

N	Media	D.E.	E.E. media	IC 0,95%		Z	p-valor Z
180	0,76	0,38	0,03	0,71	0,82	-0,002	0,99

Nota. Resultados de la prueba de Z.

Fuente. Autoría propia

Se puede apreciar los resultados de la prueba de z, la cual muestra que existe una variabilidad significativa entre los volúmenes calculados con el factor de forma propuesto por el MAG y el factor de forma calculado en la presente investigación, debido a que el p-valor de z es mayor al 0,05.

Como se observa en la Tabla 18, los volúmenes presentan normalidad en sus datos, puesto que el p-valor es superior a su valor estadístico. Tomando en cuenta que para este efecto fue necesario transformar los valores reales a sus respectivas raíces cuadradas.

Una vez realizadas y analizadas las respectivas pruebas se observa que existen diferencias significativas entre los volúmenes. Por tal motivo se aceptó la hipótesis alterna la cual menciona que el factor de forma determinado para *A. nepalensis* D. Don influye significativamente en el cálculo de volumen.

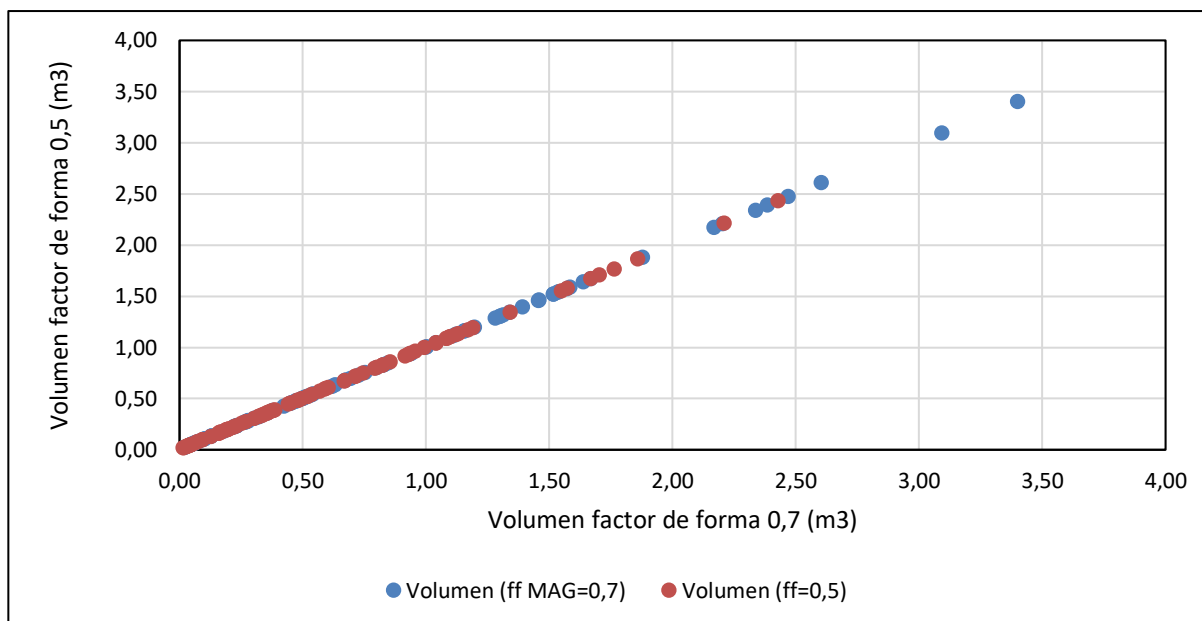


Figura 10. Comparación entre los volúmenes con diferente factor de forma

Fuente. Autoría propia

Como se puede apreciar en la figura 10, los volúmenes presentan cierta diferencia en cuanto a sus valores, aunque presentan una buena distribución normal la cual se ajusta a la línea de tendencia. De esta manera queda comprobado que la hipótesis alterna es la correcta para este estudio ya que es evidente la variabilidad de volúmenes calculados.

4.5 Resumen de volúmenes

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los volúmenes calculados en el presente estudio:

Tabla 19.

Resumen de los volúmenes calculados en este estudio

Volumen real	$V = -0,12 + 0,9Dap + 2,76Dap^2$	$V = 0,28 - 3,91Dap + 10,56Dap^2 + 0,33DapHc - 0,56Dap^2Hc - 0,02Hc$	Volumen factor de forma 0,5	Volumen factor de forma 0,7
47,5	47,66	47,75	54,70	76,58

Nota. Se describe los volúmenes obtenidos de acuerdo a los modelos matemáticos, como a los factores de forma.

Fuente: Autoría propia

La Tabla 19 muestra que el volumen real en comparación con los volúmenes presentados

por las ecuaciones no muestra grandes diferencias en cuanto a sus valores. En cambio, el volumen calculado por los factores de forma si presentaron diferencias muy significativas como se observó anteriormente.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Las tablas de volumen obtenidas en la presente investigación, muestran valores que son muy cercanos a la realidad, esto debido a que sus variables presentaron un buen ajuste y cuyo sesgo fue mínimo. Esta es una herramienta útil que permitirá calcular el volumen en plantaciones de *Alnus nepalensis* D. Don, en los sitios estudiados de una forma más sencilla y más exacta. La tabla de volumen de una entrada servirá para estimar el volumen dentro de una determinada plantación en los lugares de se obtuvieron los datos mientras, que la tabla de doble entrada, obtenida, puede ser utilizada para estimar volúmenes en plantaciones de *Alnus nepalensis* D. Don en regiones más extensas, siempre y cuando los sitios presenten condiciones similares.
- El volumen calculado mediante el factor de forma definido en la presente investigación presenta valores más reales (estimando el volumen de árboles en pie) en comparación al factor de forma utilizado por el MAG, lo cual permitirá realizar un adecuado manejo de las plantaciones de *A. nepalensis* D. Don.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda crear tablas volumétricas, para especies de alto valor comercial debido a que son herramientas técnicas que facilitan el cálculo del volumen.
- Aplicar el factor de forma obtenido en este documento con el fin de obtener valores mas exactos y de esta manera obviar sobrestimaciones de volumen.
- Realizar un estudio similar utilizando trozas sin corteza de la misma especie.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alonso, M. (2012). *MEJORAMIENTO, MANEJO Y CONTROL FITOSANITARIO DE LAS ESPECIES NATIVAS SEMBRADAS EN EL CEYPSA (lote sector alto del invernadero de caracoles) DE LA PARROQUIA ELOY ALFARO-PROVINCIA DE COTOPAXI*. Latacunga.
- Añazco, M., & Vallejos, H. (2019). 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. *X Simposio Internacional sobre Manejo Sostenible de los Recursos Forestales (SIMFOR 2018)*.
- Añazco, M., Vallejos, H., & Vizcaíno, M. (2018). Dinámica de crecimiento de *Alnus nepalensis* D. Don en el noroccidente del Ecuador continental . *CFORES*.
- Caceres, D., Del castillo, A., & Maldonado, D. (2017). *Plantaciones Forestales*. Ibarra. Celeforestal. (16 de 04 de 2018). *Youtube*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=0bV09u2RS88>
- CNF. (2017). *Comisión Nacional Forestal*. Recuperado de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/conafor/documentos/plantaciones-forestales-comerciales-27940>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *GOB.EC*. Recuperado de <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2020-06/CONSTITUCION%202008.pdf>
- Delgado, E. (30 de 10 de 2017). *SPC GROUP*. Obtenido de <https://spcgroup.com.mx/estudio-de-bias-en-sistemas-de-medicion/>
- España, F. (2016). “*CONSTRUCCIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA LA*

- DETERMINACIÓN DE BIOMASA AÉREA EN ALISO DE NEPAL (Alnus nepalensis D. Don) EN LA ZONA DE INTAG, ANDES DEL NORTE DEL ECUADOR*". Ibarra.
- Estremadoyro, J. (2014). *DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FORMA O COEFICIENTE MORFICO DE manilkara bidentata (QUINILLA COLORADA) EN EL CONSOLIDADO OTORONGO- PROVINCIA DE TAHUAMANU*. Puerto Maldonado.
- FAO. (2000). *Capítulo 3. Plantaciones forestales*.
- Farinango, F. (2 de 04 de 2018). *Repositorio Digital UTN*. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8076>
- Fern, K. (s.f.). *Base de datos de plantas tropicales*. Recuperado de tropical.theferns.info/viewtropical.php?id=Alnus+nepalensis>
- García, E. (28 de Noviembre de 2019). Plantaciones forestales comerciales ‘no afectan al bosque nativo’ en Ecuador, dice Ministerio de Agricultura.
- Imaña, J. (2011). Slides de Acompañamiento de la Cátedra Dendrometría. En J. I. Encinas, *Slides de Acompañamiento de la Cátedra Dendrometría* (pág. 434). Brasilia.
- INAMHI. (Junio de 2018). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*. Recuperado de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/bolhist/cli/>
- Jøker, D. (2000). *Alnus nepalensis D. Don. SEED LEAFLET*.
- Kometter, R. (2014). *"TABLA VOLUMÉTRICA DE MADERA APROVECHABLE Y COMERCIALIZABLE CON FINES DE EXPORTACIÓN EN PLANTACIONES DE TECA"*. Hojanca.
- MAE. (2017). *Ministerio del Ambiente y Agua* . Recuperado de <https://www.ambiente.gob.ec/codigo-organico-del-ambiente-coa/>
- MAG. (05 de 09 de 2014). *GOB.EC*. Recupeado de <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2019-03/Acuerdo%20327%20plantaciones%20forestales%2001.082014%281%29.pdf>

- MAG. (05 de 09 de 2014). *Ministerio de Agricultura y Ganaderia* . Recuperado de <https://www.gob.ec/regulaciones/acuerdo-ministerial-327-instructivo-regula-programa-corta-licencias-aprovechamiento-forestal>
- Mora, J. (19 de marzo de 2019). *Repositorio Digital UCSG*. Obtenido de <http://192.188.52.94/handle/3317/12545>
- Mori, L. (2014). *MODELOS ALOMETRICOS PARA ESTIMAR ALTURA Y VOLUMEN DEL BOSQUE DE TERRAZA MEDIA Y ESPECIES MAS IMPORTANTES DE LA CARRETERA IQUITOS NAUTA, PERÚ*. Iquitos.
- Ospina, C., Hernandez, R., Gomez, D., Godoy, J., Aristizabal, F., Patiño, J., & Medina, J. (2005). *EL ALISO O CEREZO* . Bogota: BLANECOLOR .
- PDOT CUELLAJE. (Octubre de 2015). *Gobierno Autonomo Descentralizado de la Parroquia "6 de Julio de Cuellaje"* . Recuperado de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1060021770001_PDOT%20CUELLAJE%20corregido%20FINAL%202015_17-05-2016_14-40-31.pdf
- PDOT, Plaza Gutierrez. (Septiembre de 2015). *Gobierno Autonomo Decentralizado de Plaza Gutierrez*. Obtenido de <https://www.imbabura.gob.ec/phocadownloadpap/K-Planes-programas/PDOT/Parroquial/PDOT%20PLAZA%20GUTIE%cc%81RREZ.pdf>
- Quintana, W. (1999). *Elaboración de Tablas De Volumen Para Aliso (Alnus jorullensis ssp. jorullensis Furlow) Dentro de la zona de vida Bosque Muy Humedo Montano Bajo Subtropical En el Departamento De CHimaltenango , Guatemala*. Guatemala.
- Ramirez, M., & Ramirez, J. (2001). *Tablas de volúmenes para la estimación del volumen forestal*. Uruapán.
- Rodriguez, C., Gutiérrez, J., & Pozo, T. (2007). *Fundamentos conceptuales y desarrollo práctico con SPSS de las principales pruebas de significación estadística en el ámbito educativo*.

Romahn, C., & Ramírez, H. (2010). *Dendrometría* . Chapingo.

Sanchez, Y. (2012). “*ELABORACIÓN DE TABLAS DE VOLUMENES Y DETERMINACIÓN DE FACTORES DE FORMA DE LAS ESPECIES FORESTALES: CHUNCHO (Cedrelinga cateniformes), LAUREL (Cordia alliodora), SANGRE DE GALLINA (Otoba sp.), CEIBO (Ceiba samauma) y CANELO (Nectandra sp.), EN LA PROVINC. Riobamba* .

Segura, M., & Andrade, H. (2008). ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? *Agroforestería en las Américas N° 46* .

SUB-SECTOR PLANTACIONES FORESTALES EN EL ECUADOR. (04 de 2007).

Ecuador forestal . Recuperado de https://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2013/03/PE_Plantaciones.pdf

CAPITULO VII
ANEXOS
GLOSARIO DE TÉRMINOS

Apear: cortar un árbol por el pie y derribarlo.

Aserrar: cortar o dividir algo, especialmente de madera, con la sierra.

Cubicación: es la estimación del volumen de un cuerpo, a partir de sus dimensiones, para deducir la cantidad de material requerido para ejecutar un trabajo. El nombre se deriva de la unidad de medición de volumen en el sistema internacional de unidades; es decir, el metro cúbico.

Fuste: parte sólida de los árboles.

Programa de corta: es el documento que determina los criterios técnicos, bajo los cuales se realizará las actividades de corta de una determinada plantación forestal comercial para predios individuales o asociativamente para varios predios.

Troza: tronco aserrado por los extremos para sacar tablas.

Clima megatérmico: son climas con altas temperaturas todos los meses del año y una temperatura promedio de 18°C.

Relieve montañoso: son pendientes que presentan alturas muy considerables, cuyo acceso presenta dificultad.

P – valor: significancia estadística para rechazar o aceptar una hipótesis.

Volumen: Magnitud física que expresa la extensión de un cuerpo en tres dimensiones: largo, ancho y alto cuya unidad en el sistema internacional es el metro cubico.

ABREVIATURAS

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería

Dap: diámetro a la altura del pecho

AB: área basal

ff: factor de forma

CME: cuadrado medio del error

PRESS: suma de los cuadrados de error de predicción

DM: diámetro mayor

Dm: diámetro menor

L: longitud

R²: coeficiente de determinación.

Hc: altura comercial

Ht: altura total

Ha: hectárea/s

cm: centímetro/s

m: metros

Log: logaritmo

Ln: logaritmo natural

V: volumen

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

Anexos 1. Programa de corta aplicado en la comunidad "El Rosario"

1. DATOS DE UBICACIÓN DEL PREDIO					
Provincia:	IMBABURA	Cantón:	COTACACHI		
Parroquia:	Cuellaje	Zonal	1		
Sitio:	EL ROSARIO	Nombre del predio:	S / N		
2. DATOS DEL BENEFICIARIO Y EJECUTOR					
Beneficiario:	IDALGO GUEVARA LUZ CARMELA		Cédula o RUC:	1001977451	
Ejecutor:	ANGULO RUIZ CARLOS AMABLE		Cédula o RUC:	1001996584	
3. DATOS DEL CENSO					
Superficie plantación (ha)	0,27	Tipo de Aprovechamiento		R a l e o	
Tipo de cobertura vegetal	Árboles plantados		Edad (años)		
Especie	<i>ALISO (Alnus nepalensis)</i>		Factor de forma		
4. COORDENADAS DEL LOTE O PREDIO UTM (WGS 84 ZONA 17 SUR)					
Nro. Punto	Este	Norte	N r o . P u n t o	Este	Nor te
1	775.237	10.051.787	11		
2	775.262	10051830	12		
IDALGO GUEVARA LUZ CARMELA <i>Beneficiario</i>			ANGULO RUIZ CARLOS AMABLE <i>Ejecutor</i>		

Programas de corta aprobados por el MAG

Fuente: Autoría propia

Anexos 2. Programa de corta aplicado en la comunidad "La Loma"

1. DATOS DE UBICACIÓN DEL PREDIO					
Provincia:	Imbabura	Cantón:		Cotacachi	
Parroquia:	Cuellaje	Zonal			
Sitio:	Parte rural de Cuellaje	Nombre del predio:		S/N	
2. DATOS DEL BENEFICIARIO Y EJECUTOR					
Nombre del beneficiario:	Flores Pilatuña Angel Widberto			Cédula o RUC	1002210894
Nombre del ejecutor:	Flores Pilatuña Angel Widberto			Cédula o RUC	1002210894
3. DATOS DEL INVENTARIO					
Superficie parcela (m²)	250	Superficie plantación (ha)	1.6500	Tipo de Aprovechamiento	Corta final
Tipo de cobertura vegetal	Plantación forestal comercial			Edad	10
Especie	ALISO (<i>Alnus nepalensis</i>)			Factor de forma	0.7
4. COORDENADAS DE LAS PARCELAS (UTM - WGS 84 ZONA 17 SUR)					
Nro. Parcela	Este	Norte	Nro. Parcela	Este	Norte
1	773937	10043823	11		
2	773972	10043802	12		
<i>Firman.</i>					
Flores Pilatuña Angel Widberto Beneficiario 1002210894			Flores Pilatuña Angel Widberto Ejecutor 1002210894		

Programa de corta aprobados por el MAG

Fuente: Autoría propia

Anexos 3. Matriz de hoja de campo

Sector					
Clase Diamétrica					
N° Árbol	Dap	DM	Dm	Altura total	Altura comercial

Variables dasométricas tomadas para cada individuo.

Fuente: Autoría propia

Anexos 4. Fase de campo



Medición del Dap

Fuente: Autoría propia

Anexos 5. Fase de campo



Arboles tumbados

Fuente: Autoría propia

Anexos 6. Fase de campo



Seccionamiento del árbol cada dos metros

Fuente: Autoría propia

Anexos 7. Fase de campo



Medición diámetro mayor y menor de las trozas

Fuente: Autoría propia

Anexos 8. Fase de campo



Medición de la altura total y comercial del árbol

Fuente: Autoría propia