

**NO SALE A
DOMICILIO**



UNAP

**Facultad de
Ciencias Forestales**

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

TESIS

**“ECUACIONES VOLUMETRICAS PARA ESPECIES FORESTALES
APROVECHADAS DE UN BOSQUE HUMEDO TROPICAL DE LA COMUNIDAD
NATIVA SANTA MERCEDES, RIO PUTUMAYO, PERU, 2013”**

Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal

Autor

CAROL DEL AGUILA CHILICAHUA

Iquitos - Perú

2013

DONADO POR:
CAROL DEL AGUILA CHILICAHUA
Iquitos. 28 de 01 de 2014



553



ACTA DE SUSTENTACIÓN
DE TESIS Nº 501

Los miembros del Jurado que suscriben, reunidos para evaluar la sustentación de tesis presentado por la Bachiller **CAROL DEL AGUILA CHILICAHUA** titulado: **“ECUACIONES VOLUMETRICAS PARA ESPECIES FORESTALES APROVECHADAS DE UN BOSQUE HUMEDO TROPICAL DE LA COMUNIDAD INDIGENAS, RIO PUTUMAYO, PERU, 2013”**, formuladas las observaciones y analizadas las respuestas, lo declaramos:

APROBADO BUENO
.....
APTO
.....

Con el calificativo de:

En consecuencia queda en condición de ser calificada:

Y, recibir el Título de Ingeniero Forestal.

Iquitos, 23 de setiembre del 2013

Ing. JOSE ANTONIO ESCOBAR DIAZ
Presidente

Ing. RICHERRIOS ZUMAETA, Dr.
Miembro

Ing. RILDO ROJAS TUANAMA
Miembro

Ing. RONALD BURGA ALVARADO, Dr.
Asesor

DEDICATORIA

A Dios por darme salud y vida.

A mis padres Melita Chilicahua Villacorta y Javier Del Aguila Coiquina por darme la oportunidad de vivir y lograr estudiar una carrera profesional, por su motivación, por sus consejos, por su apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida, por sus esfuerzos, cariño y por estar conmigo cuando más los necesité.

A mis hermanos, Franquito, Dante, Carlos Enrique y Harwey, por el apoyo incondicional y por el cariño que tal vez a veces no demostramos pero sabemos que está ahí, y es para siempre.

A mi abuelita Sara Villacorta, que Dios te tenga en su gloria viejita.

AGRADECIMIENTO

1. Al Ing. Jorge Espíritu Pezantes, por su apoyo en la revisión del documento.
2. Al Ing. Rodil Tello Espinoza, por su apoyo y tiempo dedicado en la parte estadística para la realización de este trabajo.
3. Al Ing. Mauro Vásquez Ramírez, por darme las facilidades para cumplir satisfactoriamente el presente trabajo.
4. Al Ing. Tedi Pacheco Gómez, por todas sus sugerencias y valioso apoyo para la realización de este trabajo.
5. Al Ing. Carlos Bardales Ríos, por todos sus consejos, sugerencias, tiempo y apoyo incondicional en la etapa de campo.
6. Al señor Juan Floriano Manihuari Do Santos, por su apoyo y esfuerzo durante la realización del trabajo de campo.
7. A la señora Perlita, a los señores Darío, Roberto, Jambres, Adiel, Romel y todo el equipo de trabajadores del PEDICP-Santa Mercedes, por su apoyo y trato amable en todos esos meses del trabajo de campo.
8. A la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana por ser una casa de enseñanza y formación de profesionales, importante para el desarrollo regional.
9. Al Proyecto Especial Binacional Desarrollo Integral de la Cuenca del Rio Putumayo (PEDICP), por la oportunidad y apoyo que me brindaron para la realización del trabajo antes y durante la fase de campo.
10. A todas aquellas personas que de una u otra manera me apoyaron en todo el proceso de mis estudios y a los que por la premura no menciono pero fueron parte muy importante en esta etapa de mi vida.

INDICE

N°	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
I. INTRODUCCION.....	1
II. EL PROBLEMA	3
2.1. Descripción del problema.....	3
2.2. Definición del problema	4
III. HIPOTESIS	5
3.1. Hipótesis general.....	5
3.2. Hipótesis alterna	5
3.3. Hipótesis nula.....	5
IV. OBJETIVOS	6
4.1. Objetivo general.....	6
4.2. Objetivos específicos.....	6
V. VARIABLES.....	7
5.1. Identificación de variables, indicadores e índices	7
5.2. Operacionalización de variables	7
VI. MARCO TEORICO	8
6.1. Estimación del volumen.....	8
6.2. Inventarios forestales.....	11
6.3. Uso de ecuaciones matemáticos	13
VII. MARCO CONCEPTUAL.....	19
VIII. MATERIALES Y MÉTODO.....	21
8.1. Lugar de ejecución	21
8.1.1. Accesibilidad	22
8.1.2. Clima.....	22
8.1.3. Fisiografía	23

8.1.4.Hidrografía.....	23
8.1.5.Suelos.....	23
8.1.6.Vegetación.....	23
8.2. Materiales y equipos	24
8.3. Método	24
8.3.1.Tipo y nivel de investigación.....	24
8.3.2.Población y muestra.....	24
8.3.3.Diseño estadístico	25
8.3.4.Análisis estadístico.....	25
8.3.5.Procedimiento	25
IX. RESULTADOS.....	33
9.1. Número de individuos y volumen de las especies forestales aprovechadas de un bosque húmedo tropical del área de estudio.....	33
9.2. Modelos volumétricos para las especies forestales aprovechadas en un bosque húmedo tropical del área de estudio	37
9.3. Aplicación de modelos estadísticos para elegir el modelo que mejor se ajusta a las características volumétricas de cada una de las especies forestales consideradas en un bosque húmedo tropical del área de estudio	42
X. DISCUSIONES.....	49
XI. CONCLUSIONES	57
XII. RECOMENDACIONES	58
XIII. BIBLIOGRAFIA.....	59
ANEXOS.....	63

LISTA DE CUADROS

N°	Descripción	Pág.
1.	Coordenadas UTM del área de la PCA 2-BLOQUE II.....	22
2.	Lista de las especies forestales aprovechables a talar.....	26
3.	Volumen total obtenido de las especies forestales aprovechadas en estudio por clase diamétrica.....	33
4.	Volumen del promedio de las especies forestales aprovechadas en el bosque húmedo tropical del área de estudio según el largo de la troza y clase diamétrica.....	34
5.	Número de árboles de las especies forestales aprovechadas en el bosque húmedo tropical del área de estudio según el largo de la troza y clase diamétrica.....	34
6.	Volumen promedio de madera de Añuje rumo aprovechada en el bosque húmedo tropical del área de estudio según el largo de la troza y clase diamétrica.....	35
7.	Volumen promedio de madera de azúcar huayo aprovechada en el bosque húmedo tropical del área de estudio según el largo de la troza y clase diamétrica.....	35
8.	Volumen promedio de madera de charapilla aprovechada en el bosque húmedo tropical del área de estudio según el largo de la troza y clase diamétrica.....	36
9.	Volumen promedio de madera del tornillo aprovechada en el bosque húmedo tropical del área de estudio según el largo de la troza y clase diamétrica.....	36
10.	Valores estadísticos del factor de forma de los árboles por método de cálculo.....	37
11.	Análisis de varianza para el factor de forma de los árboles entre métodos de cálculo.....	38
12.	Prueba de rangos múltiples con Tukey para la diferencia de promedios del factor de forma.....	38
13.	Valores del promedio, desviación estándar, error estándar y limite de	

confianza para el factor de forma calculado usando entre métodos de cálculos y por especie.....	39
14. Prueba de Tukey para el factor de forma promedio de las especies forestales.....	40
15. Contraste del promedio del factor de forma de los fustes entre especies forestales.....	40
16. Valores estadísticos para el volumen promedio de fustes por método de cálculo.....	40
17. Análisis de varianza para el volumen entre fustes.....	41
18. Contraste con la prueba de Tukey.....	41
19. Ecuaciones volumétricas del volumen calculado con el primer método consistió en determinar el volumen del árbol de cada especie calculado con la fórmula de Smalian en base al diámetro mayor y menor de cada segmento de la troza comercial (cada dos metros).....	43
20. Ecuaciones volumétricas del volumen (calculado con la fórmula $V=b1*DAP^2*largo$).....	43
21. Análisis de varianza para el uso de la ecuación volumétricas del volumen (calculado con la fórmula $V=b1*DAP^2*largo$).....	44
22. Ecuaciones volumétricas del volumen calculado con el método 2 que consistió en determinar el volumen del árbol de cada especie calculado con la fórmula de Smalian en base al diámetro mayor y menor de la troza comercial (largo total).....	45
23. Ecuaciones volumétricas del volumen (calculado con la fórmula $V=b1*DAP^2*largo$).....	45
24. Análisis de varianza para el uso de la ecuación volumétricas del volumen (calculado con la fórmula $V=b1*DAP^2*largo$).....	45
25. Ecuaciones volumétricas del volumen calculado con los resultados del tercer método en donde se tomó en cuenta el volumen de madera obtenido mediante el primer método, y se le adicionó el volumen de la madera del tocón y de las ramas del árbol.....	46
26. Ecuaciones volumétricas del volumen (calculado usando los resultado del cuarto método corresponde al volumen de madera del árbol tomando en cuenta la altura total del árbol, y un factor de forma 0,65	

que se usa en el Perú.....	47
27. Ecuaciones volumétricas del volumen (calculado con la fórmula $V=b_1 \cdot DAP^2 \cdot \text{largo}$).....	48
28. Análisis de varianza para el uso de la ecuación volumétricas del volumen (calculado con la fórmula $V=b_1 \cdot DAP^2 \cdot \text{largo}$).....	48
29. Resumen del mejor modelo para realizar las estimaciones de los parámetros para el volumen de madera con corteza a partir del diámetro mayor y el largo del tronco.....	48
30. Base de datos de las especies forestales aprovechadas de la PCA2-BII...	69

LISTA DE FIGURAS

N°	Descripción	Pág.
1.	Mapa de ubicación del área de estudio.....	21
2.	Forma de colecta de datos de los árboles talados cada dos metros.....	28
3.	Forma de como se toman las medidas de los arboles en pie.....	30
4.	Dimensiones necesarias para la aplicación de la fórmula de Smalian en la determinación de volúmenes de fustes o trozas.....	31
5.	Determinación del volumen de tocones.....	31
6.	Mapa de dispersión de las especies aprovechadas de la PCA 2-B II de la CC.NN Santa Mercedes.....	64
7.	Mapa de tipos de bosque de la PCA2-B II de la CC.NN Santa Mercedes.....	65
8.	Medición de los arboles después del talado.....	66
9.	Talado de los arboles que fueron aprovechados.....	66
10.	Mediciones de los arboles cada 2 metros.....	67
11.	Troceo de los arboles aprovechables.....	67
12.	Medición de los diámetros de los tocones.....	67
13.	Formato de campo 1, 2, 3.....	68

RESUMEN

El estudio sobre ecuaciones volumétricas para especies forestales aprovechadas, se realizó en un área de 257,424 ha, en la en la comunidad nativa de Santa Mercedes, río Putumayo-Perú, con el objetivo de determinar el número de individuos y volumen de las especies forestales; se probaron en total 11 modelos matemáticos. El diseño utilizado fue el descriptivo-correlacional, donde se evaluó la relación que existió entre la variable independiente y dependiente. Para determinar el mejor modelo se tuvo en cuenta aquel que presentó el más alto coeficiente de correlación(r), determinación (R^2) y menor error estándar de estimación S_{xy} .

En total se evaluaron 116 individuos distribuidos en cuatro especies. La especie *Anaueria brasiliensis* "añuje rumo" reporta el mayor volumen con 309,76 m³ que representa el 61,88% del total y el menor presenta la especie *Cedrelinga cateniformis* "tornillo" con 35,01m³ (6,99%). En el método uno el modelo $V=b_1 D^2 L$ fue el más eficiente para estimar el volumen cuya ecuación es $y = 0,00005408 * D^2 * \text{largo de la troza}$; en el método dos reporta el modelo $V=b_1 D^2 L$ ($y = 0,00005743 * D^2 * \text{largo de la troza}$); en el método tres es el modelo $Y = b_0 * t^{b_1}$; que se traduce en volumen total del árbol= $0,001 * DAP^{2,020}$; mientras que el método cuatro está representada por el modelo $V=b_1 D^2 L$ ($y = 0,00007937 * D^2 * \text{largo de la troza}$) y finalmente la ecuación $V=b_1 D^2 H$ puede ser usado para estimar el volumen de maderas en trozas.

Palabras claves: Ecuaciones volumétricas, modelos matemáticos, volumen, largo, DAP, especies.

I. INTRODUCCION

La Amazonía es uno de los ecosistemas más ricos y diversos de la tierra. Es un deseo legítimo de los países que lo comparten, transformar esa rica diversidad en desarrollo y bienestar, los bosques son de gran importancia para las comunidades ya que además de brindar servicios ambientales también pueden generar beneficios económicos y sociales. Sin embargo la experiencia ha demostrado que la inclusión de nuevas variables a ser evaluadas para satisfacer la demanda de información conlleva al aumento de costos, por ello es fundamental el análisis de las relaciones entre diferentes dimensiones de los árboles en los estudios de crecimiento de diámetro y altura; en especial, el principio de crecimiento alométrico determina el crecimiento de una parte del organismo en relación con el organismo entero o alguna parte del mismo (Gayon, 2000).

La determinación del volumen de los árboles y masas forestales se puede realizar de forma directa o indirecta, de forma indirecta se obtiene a través de tablas de volumen, siendo esta de mayor precisión, fácil manejo y utilidad de acuerdo a diversos investigadores, además de ser el fundamento de los inventarios forestales para saber con cuanto volumen se cuenta; pero el problema latente en muchas comunidades es que no siempre se tiene esa herramienta debido a lo costoso de su obtención y personal técnico especializado que se requiere para su construcción. Debido a esto, los técnicos forestales hacen uso de ecuaciones generales para obtener el volumen individual o de tablas de volumen de tipo general, y que en ocasiones extremas, no son de la especie de interés ni de la región de trabajo. Para Pacheco (2011), con una ecuación volumétrica se crean

tablas de volumen que se definen como una relación gráfica o numérica, estas ecuaciones volumétricas dan el estimado del volumen de un árbol o de un conjunto de árboles en función a variables relacionadas con el volumen, tales como el diámetro, la altura y la forma.

Con la generación y uso de las ecuaciones de volumen se puede establecer un manejo más adecuado y mejor control de los aprovechamientos maderables, lo anterior garantiza un manejo sustentable del recurso maderable. Por eso, cotidianamente son usadas por los técnicos forestales, para de esta forma, estimar el volumen de madera de los árboles basándose en la medición del diámetro a la altura del pecho, altura total, comercial o del fuste limpio (Pacheco, 2011). Desde el punto de vista teórico en el presente trabajo se aportará ecuaciones volumétricas para ser contrastadas con otros tipos de bosques.

II. EL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Los bosques son de gran importancia para las comunidades ya que además de brindar servicios ambientales, también pueden generar beneficios económicos y sociales, en varias comunidades aprovechan sus recursos forestales maderables y no maderables para beneficio directo de sus integrantes o para la generación de empleos que propician el desarrollo colectivo. Los recursos maderables han sido y siguen siendo, los de mayor importancia en diversos aspectos, por ello es necesario conocer la dimensión de sus existencias volumétricas para saber que se tiene a nivel rodal o a nivel comunal, como están y que es posible hacer con ellos, como puede ser un programa de recuperación, protección o aprovechamiento sustentable, requiriéndose para este último, el conocimiento de sus existencias volumétricas e incrementos (Pacheco, 2011).

Los cálculos del volumen de trozas de madera siempre han sido motivo de diversas conjeturas, por ser estas utilizadas inadecuadamente, en tal sentido urge la necesidad de evaluar el potencial volumétrico con mayor precisión. La valorización de las especies maderables a través del tiempo y su comercialización se vuelve una transacción más precisa y ponderada, en función al volumen, comprobándose que en la compra de madera rolliza la determinación del volumen comercial es determinante, porque se puede estimar o subestimar el volumen, afectando la economía de una de las partes de la transacción comercial (INADE/PEDICP, 2009).

En la zona de la comunidad nativa Santa Mercedes, río Putumayo, existe carencia de estudios dasométricos; por estas razones, con la presente investigación, se pretende determinar ecuaciones volumétricas que mejor se ajusten a las características de las especies forestales aprovechadas, estos básicamente se apoyan en la relación existente entre el volumen de un árbol, su altura y diámetro.

1.2. Definición del problema

¿Qué ecuaciones volumétricas se ajustan a las especies forestales aprovechadas de un bosque húmedo tropical de la comunidad nativa Santa Mercedes, Río Putumayo, Perú?

III. HIPOTESIS

3.1. Hipótesis general

El volumen de las especies forestales de un bosque húmedo tropical de la comunidad nativa Santa Mercedes tiene una tendencia lineal por lo que constituye el mejor modelo matemático.

3.2. Hipótesis alterna

El volumen de las especies forestales de un bosque húmedo tropical de la comunidad nativa Santa Mercedes tiene una tendencia, tal como logarítmica, exponencial, cuadrática, cúbica, entre otros.

3.3. Hipótesis nula

El volumen de las especies forestales de un bosque húmedo tropical de la comunidad nativa Santa Mercedes no tiene una tendencia lineal, por lo que no se ajusta a un modelo matemático.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Determinar las ecuaciones volumétricas de las especies forestales aprovechadas en un bosque húmedo tropical de la comunidad nativa Santa Mercedes, río Putumayo, Perú.

4.2. Objetivos específicos

- a) Determinar el número de individuos y volumen de las especies forestales aprovechadas de un bosque húmedo tropical de la comunidad nativa Santa Mercedes, río Putumayo, Perú.
- b) Probar modelos volumétricos para especies forestales aprovechadas en un bosque húmedo tropical de la comunidad nativa Santa Mercedes río Putumayo, Perú.
- c) Definir mediante la aplicación de alguna prueba estadística, el modelo que mejor se ajusta a las características volumétricas de cada una de las especies forestales consideradas en un bosque húmedo tropical de la comunidad nativa Santa Mercedes Río Putumayo, Perú.

V. VARIABLES

5.1. Identificación de variables, indicadores e índices

En el Cuadro 1, se señalan las variables de estudio con sus respectivos indicadores e índices.

Cuadro 1. Variables, indicadores e índices de estudio

Variables	Indicadores	Índices
Independientes: • Diámetro • Altura	Especies aprovechadas	cm, m.
Dependientes: • Volumen • Modelos lineales • Modelos no lineales	Formula de Smalian r,R,S X y r,R,S X y	m ³

5.2. Operacionalización de variables

Variables	Indicadores	Operacionalización de la variable
Independientes: • Diámetro • Altura	Dap Especies aprovechadas Altura de las especies aprovechadas	Cm m.
Dependientes: • Volumen • Modelos lineales • Modelos no lineales	Formula de Smalian r,R,S X y r,R,S X y	m ³

VI. MARCO TEORICO

6.1. Estimación del volumen

Bonilla (1969), menciona que en muchos países europeos, consideran al volumen total como la única expresión volumétrica que se usa para determinar el volumen en rodales, árboles en pie o en trozas. Para tener una idea del valor económico se acostumbra a determinar la fracción del volumen total que es aprovechable, y se expresa en porcentaje, esta fracción es determinada por expresión empírica, de acuerdo al rendimiento real de los árboles, rodales y trozas semejantes en el pasado o sometidas a condiciones técnicas y en otras similares. El mismo autor manifiesta que las dificultades prácticas de hacer evaluaciones directas del volumen del arbolado en pie llevaron desde hace un tiempo al desarrollo de metodologías tendientes a calcular, por medio de mediciones simples y directas (básicamente el diámetro del árbol a 1,30 m de altura, la altura total o comercial y algunas evaluaciones relacionadas con la forma de los individuos), los volúmenes que en conjunto sustentan los árboles de una determinada masa o rodal.

Wabo, (1999), menciona que el volumen ha sido y sigue siendo la forma de expresión de la cantidad de madera contenida en árboles y rodales más ampliamente utilizada a escala mundial. El volumen de madera contenido en un rodal puede considerarse como la suma de los volúmenes de los árboles en pie comprendidos en él. En consecuencia, una forma de acceder al conocimiento del volumen de madera de un rodal es a través del conocimiento del volumen de sus árboles individuales. Una herramienta para determinar ese volumen son las Tablas de Volumen.

Delgado (2005), menciona que la cubicación de un árbol en pie, es decir, el cálculo de la madera que almacena, es una operación estadística que depende de varios factores, como la especie, dimensiones y forma de ese árbol. La forma práctica de conseguir tarifas, tablas o ecuaciones desarrolladas en un monte, comarca o país es contar con una muestra suficientemente representativa de árboles-tipo que se seleccionan, derriban y cubican con el fin de calcular sus volúmenes y construir dichas ecuaciones de cubicación. Estas ecuaciones se construyen por medio de métodos estadísticos de regresión, analizando qué forma matemática se adapta mejor a cada especie, forma y territorio histórico con el fin de calcular la variable dependiente (volumen) en función de las variables independientes (diámetro y altura).

El método de medición en pie utilizando el telerelascopio de Bitterlich, para Gallegos (2010), resulto más económico, ya que elimino la necesidad de derribar los arboles muestra, además de que se obtiene una confiabilidad aceptable en los cálculos del volumen aprovechable. Si se utiliza este método se recomienda que coincida preferentemente con la época de estiaje ya que es cuando los arboles tienen menos follaje lo que facilita la visualización del fuste y consecuentemente las mediciones obteniendo mejores resultados. La estimación del volumen con una variable DAP y con dos variables DAP y altura, arrojaron resultados similares comparados con el volumen real estimado en campo. Por razones prácticas en cuanto a la facilidad de aplicación, confiabilidad en la estimación del volumen y evitando incrementar tiempo y costos se recomienda la ecuación $Y = A * X^B$ ($A= 0.000196127$), ($B= 2.30055$) para la estimación de volumen.

La medición del diámetro se realiza fácilmente y con mucha precisión y exactitud por lo que se utiliza para estimar la altura, volumen, frecuencia de árboles, biomasa y carbono de madera y foliar entre otros. En diversos estudios sobre silvicultura, ecología del bosque y fisiología de árboles se han utilizado una variedad de instrumentos de medición que a menudo difieren en exactitud, precisión, costo o simplicidad operacional (López *et al.*, 2006).

Los árboles de igual DAP y altura total aunque pertenezcan a la misma especie, no poseen igual volumen por esta razón una tabla general aplicable a especies y sitios diferentes no es posible. La tabla de volumen es una representación matemática y geográfica de la relación existente entre uno o más parámetros cuantitativos de los árboles (DAP y altura), con el volumen maderable de los mismos con el fin de facilitar los cálculos y resumirlos en un documento fácil de ser utilizado (Malleux y Montenegro, 1971).

De los cuatro modelos matemáticos para estimar la volumetría de las especies forestales del grupo I (quillosa y requia), el que presentó el mejor ajuste fue el modelo potencial de Mervat $V = \text{Log } V = \text{Log } a + b \text{ Log } D$, con un coeficiente de determinación de $R^2 = 95,2\%$ y un error estándar de estimación de $S_{xy}\% = 7,08\%$ siendo la ecuación final $V = \text{Antilog } (-4,022808 + 2,49495 \text{ Log } D)$. El modelo exponencial de tipo I, Meyer $V = \text{Log } V = \text{Log } a + bD$, con un coeficiente de determinación $R^2 = 98,3\%$ y un error estándar de estimación de $S_{xy}\% = 3,87\%$, la ecuación resultante es $V = \text{Antilog } (-0,54483 + 0,01625 D)$ y es el que presentó el mejor ajuste para estimar la volumetría de las especies forestales del grupo II (cumala y marupa) (Pacheco, 2011).

Para estimar los volúmenes en pie, se necesitan tablas de cubicación, en los que el volumen se determina con dos medidas; el diámetro a la altura del pecho y la altura comercial de la especie en estudio (Prodan, 1968). Mientras que para Lojan (1954), el volumen de un árbol depende: del diámetro, altura comercial y la forma de la copa, esta última presenta algunas dificultades para su medición, especialmente en los bosques heterogéneos, donde cada árbol tiene una forma diferente.

6.2. Inventarios forestales

Escobar (2009), afirma que en forma más detallada, el procedimiento para la realización de un inventario requiere necesariamente de la planeación de las actividades del mismo, entendiendo que un inventario necesita de la preparación que permita optimizar los recursos humanos y financieros.

El inventario forestal es un procedimiento útil para obtener información necesaria para la toma de decisiones sobre el manejo y aprovechamiento forestal. El término "inventario forestal" ha sido utilizado en el pasado como sinónimo de "procedimiento para la estimación de recursos leñosos (principalmente maderables comerciales) contenidos en un bosque" (Orozco y Brumér, 2002).

El inventario es un instrumento de planificación, pues ofrece datos estadísticos seguros en lo referente a la cuantificación y distribución de los individuos vegetales, como también la caracterización de la población vegetal y la evaluación de la diversidad biológica (Robles, 1978); Péllico Neto y Brena (1997) y Prodan (1997), citado por Moscovich *et al.*, (2003). Para Orozco y Brumér (2002), es un

procedimiento útil para obtener información necesaria para la toma de decisiones sobre el manejo y aprovechamiento forestal. Mientras que para Loja (2010), consiste en extraer información, es decir es para saber cómo aprovecharlo, es como una radiografía del bosque, un resumen de su situación en un tiempo dado. El propósito del inventario es la preparación de un plan de aprovechamiento forestal, poniendo énfasis en recolectar información exacta (con el mínimo error) y al más bajo costo posible sobre: topografía detallada del terreno, cálculo del área efectiva de aprovechamiento, de las zonas de protección, localización de rutas de transporte, e información sobre ubicación, cantidad, tamaño y calidad de los productos que se quiere aprovechar (CATIE, 2002, citado por Torres, 2010).

En un inventario forestal con fines de valorización en la carretera Iquitos-Nauta, Pérez (2001), encontró la presencia de 191 árboles, donde la mayor cantidad de individuos se encuentran presentes en las clases diamétricas inferiores y las proyecciones de las curvas de distribución de individuos por clase diamétrica muestran una curva de tipo exponencial, el mismo que resulta ser típica de los bosques amazónicos. Así mismo, manifiesta que la distribución volumétrica muestra una proyección irregular, alcanzando el máximo volumen en las clases inferiores por la presencia de gran cantidad de individuos.

El resultado más significativo del inventario es el volumen comercial contenido en los árboles del bosque y este volumen no se puede ubicar directamente mientras los árboles están en pie, es recomendable apearse al árbol para que el trabajo sea más eficiente y la cubicación más exacta (Tossi, 1957 y Torrealva, 1980). Además Bruce-Schumacher (1965), afirman que para medir, los árboles tienen que ser talados, entonces el trabajo de medir se puede efectuar eficientemente, luego los

cálculos de volumen para cada sección aprovechable se hace en el gabinete utilizando fórmulas de Smalian, Huber o la del cilindro.

El inventario forestal no solo es un registro cualitativo y cuantitativo de los árboles, sino que se amplía a todos los elementos que conforman el bosque, según el cual está compuesto por el capital vuelo, suelo y demás elementos o individuos que se desarrollan y viven en la masa forestal; también afirma que las unidades pequeñas son más aptas para bosques homogéneos porque el área varía considerablemente de acuerdo al tipo de bosque, de esta forma las muestras pueden ser desde unidades tan pequeñas como 100 m² o tan grandes como 1000 m² (Malleux, 1982). Así mismo, un inventario forestal debe incluir una descripción general de la zona forestal y de las características legales para el aprovechamiento del área; así como cálculos de las existencias maderables según las especies forestales (número de árboles por categorías diamétricas, disponibilidad volumétrica, entre otras), y cálculos de los incrementos de las normas, principalmente debidas a pérdidas por el estado fitosanitario y defectos físicos del árbol; además hay que tener en cuenta que los inventarios deben incluir ambas cosas, ya que cualquier estimación de las cantidades de madera de un bosque tiene poco significado si no se considera en relación con la zona donde los árboles están plantados (Husch, 1971)

6.3. Uso de ecuaciones matemáticas

Delgado (2005), concluyó que la existencia de patrones alométricos en especies arbóreas pioneras tropicales, encontró dos patrones distintos: uno relacionado

con un mayor crecimiento de la altura, asegurando un espacio en el dosel, y el otro más ligado al crecimiento del diámetro y de la copa, ocupando mayor espacio horizontal. Se encontraron que no es posible predecir las relaciones alométricas sólo por el tamaño de los árboles adultos y su posición en el dosel. Dicha variación pudiera estar relacionada con cambios del tamaño dependientes de respuestas diferentes a la disponibilidad de luz y rasgos demográficos.

Delgado (2005), concluyó que las relaciones alométricas diámetro-altura fueron analizadas en 34 especies arbóreas de la Reserva Forestal Imataca, según la ecuación exponencial de Chapman y Richard, utilizada por los modelos de base individual ZELIG y FACET, que simulan la dinámica de crecimiento del bosque. Los coeficientes de las relaciones alométricas para cada especie fueron calculados por regresión lineal aplicada a la transformación logarítmica de la ecuación exponencial. Se determinó que la relación exponencial explica una proporción elevada de la variabilidad de altura para las especies estudiadas aunque se utilizaron datos de parcelas en localidades diferentes. Las relaciones resultantes fueron incorporadas al modelo FACET en trabajos posteriores. Se evaluó la existencia de patrones alométricos, agrupando las especies según los requerimientos de luz (intolerantes o pioneras y tolerantes a la sombra) y por clases de altura (medianas con 10-30m y grandes con >30m), conformando cuatro grupos funcionales: pioneras medianas, pioneras grandes, tolerantes medianas y tolerantes grandes. Se encontraron diferencias entre las alometrías de los cuatro grupos utilizando análisis de varianza y análisis discriminante. El mismo autor, menciona que una aplicación importante es la estimación de la altura del árbol a partir de su diámetro medido a la altura de pecho (DAP), a una

altura estándar de 1,37m. El DAP explica mucha de las variaciones en altura, y como resultado, la relación alométrica DAP-altura ha sido utilizada como uno de los factores en el estudio de la dinámica de crecimiento del bosque. Esta relación ha sido también empleada para demostrar que el diámetro se incrementa a una tasa más rápida que la altura durante el crecimiento, como lo predicho por los modelos biomecánicos. Las ecuaciones alométricas que relacionan al DAP con otros atributos, tales como biomasa, volumen de carbono y área foliar, son una importante y frecuente herramienta usada en investigaciones ecológicas.

Las ecuaciones alométricas tienen un valor práctico, puesto que relacionan al DAP con otros atributos, tales como biomasa, volumen de carbono y área foliar, que son muy importantes y además usados frecuentemente en investigaciones ecológicas (Martin *et al.*, 1998). Los modelos alométricos tienen mucha aplicación en el campo forestal, porque presentan mucha flexibilidad en su uso; las variables más usadas son: el diámetro a la altura del pecho (dap), diámetro a la altura del tocón, altura comercial (hc), altura total (ht) y combinaciones de ellas.

Moret (1998), indica que varias investigaciones realizadas en Venezuela en el área de Dasimetría, han permitido la obtención de ecuaciones de cubicación y la elaboración de tablas de volumen para especies individuales y grupos de especies, tanto en los llanos occidentales como en el sur del país; sin embargo, ninguna de ellas se ha considerado al momento de establecer las condiciones contractuales con las empresas concesionarias de unidades de ordenación y manejo forestal, como en los permisos anuales a particulares.

Diversas opiniones técnicas a través de los años en Venezuela, coinciden en la necesidad de determinar formulas o tablas de cubicación, para especies individuales o grupos de especies, para las principales zonas geográficas de ese país, así como también la no conveniencia del uso de la fórmula de cubicación oficial y la necesidad de utilización de otras que estimen con mayor precisión los volúmenes en pie y rolas de los arboles aprovechados en el territorio nacional (Moret, 1998).

Moret (1988), menciona que se presentaron una metodología para seleccionar la mejor ecuación de volumen, utilizando para ellos los valores del cuadrado medio de error (CME) y los valores del Índice del furnival si son diferentes las variables dependientes. Estimaron un modelo para una muestra de 243 árboles localizados en la unidad modelo de manejo y producción forestal Dantas den Perú, quedando el modelo de la siguiente forma: $\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h$.

Pacheco (2011), indica que las tablas de volumen han sido hoy reemplazadas por las ecuaciones de volumen, esto es, por modelos matemáticos capaces de representar el volumen medio de madera por árbol a partir de las variables independientes mencionadas. Sin embargo, el término tabla ha persistido como un término genérico para expresar una tabla de volumen derivada de una ecuación de volumen. También puede decirse que, hoy por hoy, una tabla de volumen es la expresión tabular de los valores de volumen predichos por una ecuación de volumen.

Las Tablas de Volumen han sido hoy reemplazadas por las Ecuaciones de Volumen, esto es, por modelos matemáticos capaces de representar el volumen medio de madera por árbol a partir de las variables independientes mencionadas.

Sin embargo, el término Tabla ha persistido como un término genérico para expresar una Tabla de Volumen derivada de una Ecuación de Volumen. También puede decirse que, hoy por hoy, una Tabla de Volumen es la expresión tabular de los valores de volumen predichos por una Ecuación de Volumen (Wabo, (1999).

El uso del procedimiento matemático, depende o se subordina a la probabilidad de hallar una fórmula matemática adecuada que ajuste los datos del volumen por árbol. Así mismo, indica que varias son las fórmulas que se han propuesto y aplicado para este fin, con grados variables de factibilidad dentro de la gama de modelo que generalmente se consideran en la elaboración de tablas de volumen estándar se destacan fundamentalmente las logarítmicas y las polinomiales (Rojas, 1978).

Mediante un método no destructivo, basado en el empleo del relascopio de espejos, se cubicaron árboles individuales de las especies nativas del bosque relicto del predio Rucamanque (IX Región, Chile). A partir de esta cubicación, se ajustaron ecuaciones estimadoras del volumen. Se agruparon especies mediante un análisis de covarianza, producto del cual se obtuvieron los siguientes cuatro grupos: 1. Laurel, Lingue, Tapa; 2. Ulmo con $DAP \leq 60$ cm, Olivillo; 3. Roble, y 4. Ulmo con $DAP > 60$ cm, Tineo. La obtención de la mejor ecuación de volumen total para cada uno de los grupos de especies se realizó en las siguientes cuatro etapas: Prueba de violación de supuestos estadísticos, Ranking de modelos de acuerdo a la bondad de ajuste, Ranking de modelos de acuerdo a sus capacidades predictivas, y análisis de las capacidades predictivas dentro de rangos de clases diamétricas. Las ecuaciones seleccionadas presentan errores

cuadráticos medios (ECM) entre el 15-24%, lo cual está influenciado principalmente por la amplitud del rango de ajuste y la gran variabilidad natural del volumen en los mayores DAP (Salas, 2002).

Los modelos pueden ser evaluados de acuerdo con los siguientes criterios: el coeficiente de determinación (R^2), el coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado) y el error cuadrático medio de predicción (ECMP), entre otros. El coeficiente de determinación se interpreta como la proporción de la variabilidad total en Y explicable por la variación de la variable independiente o la proporción de la variabilidad total explicada por el modelo (Di Rienzo *et al.*, 2001).

Finalmente las ecuaciones matemáticas tienen muchas ventajas sobre una descripción verbal del problema. Una ventaja obvia es que el modelo matemático describe un problema en forma mucho más concisa. Esto tiende a hacer que toda la estructura del problema sea más comprensible y ayude a revelar las relaciones importantes entre causa y efecto. De esta manera, indica con más claridad que datos adicionales son importantes para el análisis. También facilita simultáneamente el manejo del problema en su totalidad y el estudio de todas sus interrelaciones. Por último, una ecuación matemática forma un puente para poder emplear técnicas matemáticas y computadoras de alto poder, para analizar el problema. Sin duda, existe una amplia disponibilidad de paquetes de software para muchos tipos de modelos matemáticos, para micro y minicomputadoras. http://www.investigación-operaciones.com/Metodología_IO.htm.

VII. MARCO CONCEPTUAL

Comunidades nativas: Son organizaciones tradicionales y estables de interés público, constituidas por personas naturales y cuyos fines se orientan al mejor aprovechamiento de su patrimonio, para beneficio general y equitativo de los comuneros, promoviendo su desarrollo integral. Están reguladas por legislación especial. (<http://www.monografias.com/trabajos69/comunidades-campesinas-nativas/comunidades-campesinas-nativas.shtml>)

Cubicación: Es conocer la forma aproximada del volumen real de madera de un árbol en pie (Escobar, 2009).

Diámetro normal: Diámetro del árbol medido a 1.30 metros del suelo (Escobar, 2009).

Ecuaciones: En matemática se llama ecuación a la igualdad entre dos expresiones algebraicas, que serán denominados miembros de la ecuación. (<http://www.definicionabc.com/general/ecuacion.php>).

Factor de Forma: Relación matemática existente entre el volumen del árbol sobre el volumen del cilindro (Shumacher 1973)

Tablas y tarifas de cubicación: Son gráficos, cuadros numéricos o expresiones matemáticas que determinan el valor de una variable a partir de unos parámetros conocidos, por ejemplo, la altura del árbol y el diámetro. (<http://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080613073810AA1UUSg>)

Modelo. Es la representación abstracta de algún aspecto de la realidad (Regalado *et al.*, 2005).

Modelo matemático: Es una representación conceptual que se emplea en el sector de la ciencia aplicada para concretar la expresión de vínculos entre variables, operaciones u otra clase de entidades a través de una fórmula matemática. (<http://definicion.de/modelo-matematico/>).

Volumen con corteza: volumen maderable del fuste principal, desde la base hasta el diámetro mínimo, excluidas las ramas (Escobar, 2009).

Volumen sin corteza: volumen maderable del fuste principal pero descontando la parte correspondiente a la corteza (Escobar, 2009).

VIII. MATERIALES Y MÉTODO

8.1. Lugar de ejecución

El trabajo se realizó en la Comunidad Nativa Santa Mercedes, que se encuentra ubicada en la margen derecha del Río Putumayo, frontera con Colombia, a 235 Km. aproximadamente de la localidad de San Antonio de El Estrecho y a 200 m.s.n.m. Dentro del área de la comunidad nativa se encuentra ubicada la PCA2-BLOQUE II que cuenta con una extensión del área de 257,424 ha aproximadamente, en la margen derecha de la parte media de la cuenca del Río Putumayo, sub cuenca de la quebrada Gairilla y Sabalillo. Políticamente, se enmarca en el distrito del Putumayo, Provincia de Maynas, región Loreto. (Fig. 1)

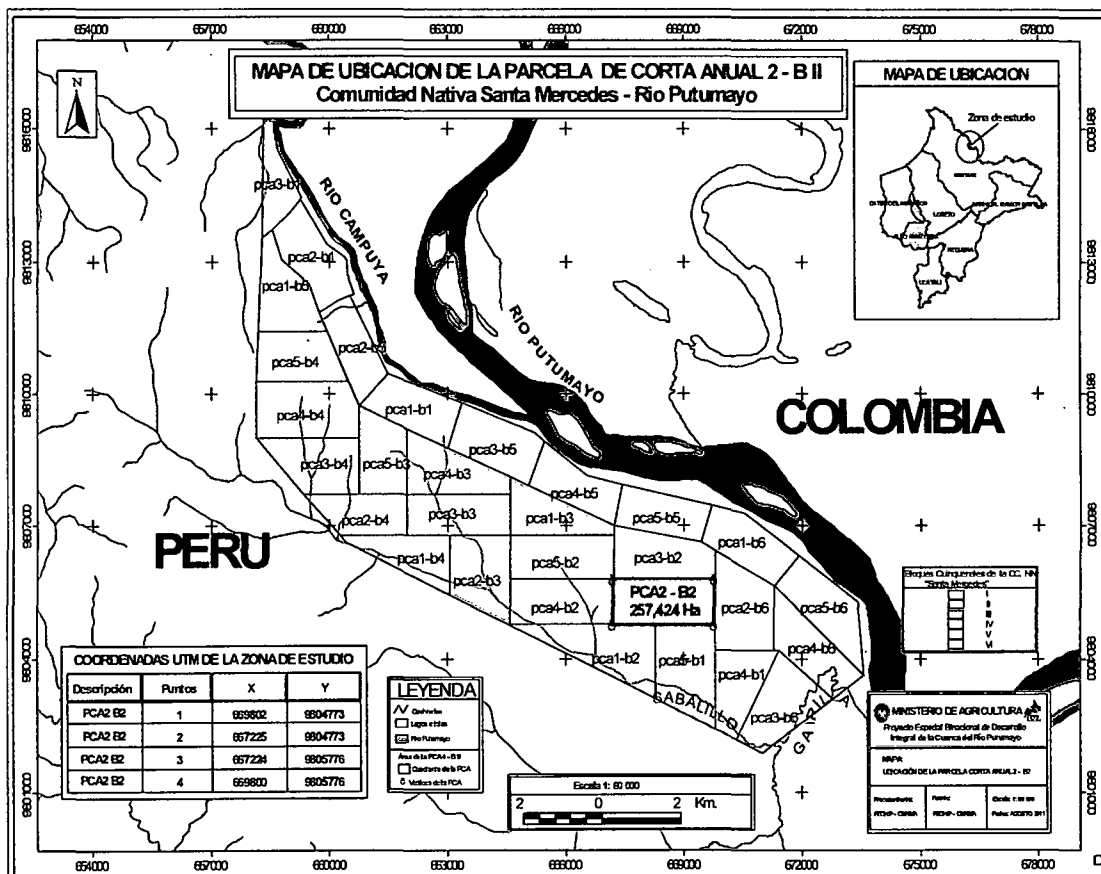


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio

La PCA2-BLOQUE II presenta las siguientes coordenadas UTM. (INADE/PEDICP 2009).

Cuadro 1. Coordenadas UTM del área de la PCA2-BLOQUE II

Punto	Este (E)	Norte (N)
P1	669802,506	9804773,505
P2	667225,569	9804778,223
P3	667224,796	9805776,184
P4	669800,655	9805776,183

8.1.1. Accesibilidad

A partir de la localidad de San Antonio de El Estrecho, el acceso común a Santa Mercedes es por vía fluvial, navegando aproximadamente seis horas en bote deslizador con motor fuera de borda de 65 HP, posteriormente el camino a la parcela de corta anual 2-bloque II, se realiza a través de transporte fluvial, el mismo que se inicia desde la comunidad nativa Santa Mercedes navegando aguas arriba por el río Putumayo y posteriormente por la quebrada Gairilla y Sabalillo (INADE/PEDICP 2009).

8.1.2. Clima

Corresponde al clima cálido, húmedo y lluvioso. La precipitación promedio mensual es de 200,6 mm y la precipitación anual es de 2407,7 mm. Los meses con mayor precipitación son enero, abril y mayo. El mes con menor precipitación es junio. La temperatura medio mensual en la zona oscila entre 23,5°C Y 28°C. Las temperaturas máximas están entre 29,8°C y 31,6°C y las mínimas están entre 20°C Y 22°C. La humedad relativa, es constante en toda zona, oscilando la media anual entre 82% y 93% (INADE/PEDICP 2009).

8.1.3. Fisiografía

La fisiografía de terreno es plano cerca de la orilla del río Putumayo y ondulado en las áreas más alejadas; siendo las lomadas altas y bajas la característica principal del área del proyecto (Anexo 3) (INADE/PEDICP 2009).

8.1.4. Hidrografía

El área, está ubicada en una zona privilegiada desde el punto de vista de los recursos hídricos. El curso más importante es el río Putumayo, cuyo ancho varia de 700 a 1200 m, los tributarios lo conforman el río Campuya, con un ancho promedio de 50m siendo navegable todo el año, y la quebrada Gairilla con un ancho cerca de su desembocadura de 30m y navegable en embarcaciones de poco calado en época de creciente (INADE/PEDICP, 2009).

8.1.5. Suelos

Los terrenos de la comunidad nativa Santa Mercedes, presentan suelos originados a partir de materiales litológicos lutitas principalmente distribuidos ampliamente en el paisaje de las lomas altas de cimas cónicas. El relieve es ondulado y la gradiente promedio es de 15%, con una altura referencial de 15m. En general, los suelos se caracterizan por presentar un nivel de fertilidad muy bajo, alto grado de acides, pobre saturación, contenidos muy bajos de calcio y magnesio intercambiables, marcada pobreza en fosforo; y toxicidad en por los altos contenidos de aluminio; particularmente aptos para la actividad forestal (INADE/PEDICP, 2009).

8.1.6. Vegetación

El área de aprovechamiento está constituida por una diversidad de tipos de bosque y estos varían de acuerdo al terreno, entre ellos tenemos; bosque húmedo

tropical de colina baja, bosque húmedo tropical de terraza baja inundable. En cada una de ellas existe una variedad de especies arbóreas, arbustivas, lianas, hierbas y palmeras, entre otras (INADE/PEDICP, 2009).

8.2. Materiales y equipos

Los materiales que se utilizaron en el presente trabajo son: libreta de campo, lápiz, brújula, GPS, pilas, forcípula, motosierra, wincha, botas, machetes, capota, Cámara fotográfica digital, computadora, papel A4, impresora, USB, útiles de escritorio, Programas Word, Excel, entre otros.

8.3. Método

8.3.1. Tipo y nivel de investigación

El tipo de investigación es descriptivo-correlacional. Descriptivo porque se ocupa de la descripción de fenómenos ecológicos en una circunstancia temporal y geográfica determinada, que tiene como finalidad describir y estimar parámetros. Correlacional porque demuestran dependencia entre diferentes variables, apoyados en las pruebas estadísticas; aquí se encuentran los estudios de asociación sin relación de dependencia y de acuerdo a la naturaleza de investigación por su nivel de la tesis corresponde a un estudio de nivel básico.

8.3.2. Población y muestra

Población

La población está conformado por todos los árboles inventariados que tienen una característica común entre ellos que son especies comerciales con un diámetro mínimo de corta de 41 cm y se encuentran en la Parcela de Corta Anual 2- Bloque II (PCA2-BLOQUE II) en una área determinada de 250,424 ha aproximadamente.

Muestra

La muestra está compuesta por todos los árboles (116 individuos) que fueron aprovechados y cumplieron las condiciones óptimas que se requieran para su aprovechamiento como son: tener más de 41 cm de diámetro, no podridos ni tener hueco, no rajados, sin evidencia de plagas o enfermedades, no ser árboles semilleros ni de reserva.

8.3.3. Diseño estadístico

El diseño utilizado es el descriptivo-correlacional, donde se evaluaron la relación que existió entre las variables independientes y las variables dependientes.

8.3.4. Análisis estadístico

Para determinar las ecuaciones volumétricas que mejor estimen el volumen por especie de los árboles de la parcela de corta anual - Bloque II (PCA2-B II) se probaron diferentes modelos matemáticos como del tipo lineal, logarítmica, exponencial, cuadrática, cúbica, entre otros, donde que al final se escogió el que mejor se ajuste a las especies forestales aprovechadas, basados en su más alto coeficiente de correlación (r), determinación (R^2) y menor error estándar de estimación S_{xy} .

8.3.5. Procedimiento

a. Descripción del proceso de aprovechamiento en el área de estudio

El aprovechamiento de las especies se realizó en el área de manejo forestal de la comunidad nativa Santa Mercedes en la parcela de corta anual 02- bloque II (PCA2-BII), a través de la base de datos del POA-Santa Mercedes 2012, donde se ubicaron los árboles de las diferentes especies que fueron seleccionadas para su aprovechamiento. (Fig. 9)

- **Número de árboles a talar**

Con respecto al número de árboles que fueron talados, el trabajo estuvo basado en el Plan Operativo Anual- Santa Mercedes de la PCA2 (POA2-PCA2), del cual fueron seleccionados 116 individuos de las cuatro principales especies (Cuadro 2) de madera comercial por su potencial y tradición que se aprovechan en la zona. (Anexo 2)

Cuadro 2. Lista de las especies forestales aprovechables a talar

Nº	Nombre común	Nombre científico	DMC (cm)
1	Añuje rumo	<i>Anaueria brasiliensis</i>	41
2	Azúcar huayo	<i>Hymenaea palustris</i>	51
3	Charapilla	<i>Dipteryx odorata</i>	51
4	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	61

b. Recolección de datos de campo

- **Selección de las especies a aprovechar**

Las especies que fueron aprovechadas están en condiciones óptimas, teniendo el diámetro mínimo de corta (igual o mayor a 41 cm) y en especial se consideraron aquellos árboles que cumplieron con las siguientes características: copa completa, sin rajaduras, sin evidencia de plagas y enfermedades, no deben estar podridos ni huecos, y de porte saludable. (Fig. 8)

- **Medición del diámetro a la altura del pecho, la altura del fuste y altura comercial de cada uno de los árboles de cada especie que se taló.**

Antes del talado de los árboles, para el registro de los datos de campo, se utilizó el formato que fue elaborado en gabinete, el cual fue empleado para cada árbol en el cual se consideraron los siguientes parámetros:

Diámetro a la altura del pecho: Se midió a 1,30 metros sobre el suelo. En terrenos con pendiente se considerara el valor de la parte superior de la pendiente.

Diámetro a la altura del fuste: Se midió la longitud de la base del árbol hasta la presencia de las primeras ramas.

Diámetro de la altura comercial: Se consideró desde el diámetro mínimo de corta hasta las primeras ramas.

- **Medición del diámetro con y sin corteza de la base y del final del fuste y la longitud del fuste después que el árbol ha sido talada.**

Después del talado de los árboles se registró los siguientes datos de campo:

Diámetro con y sin corteza de la base y final del fuste: La medición de esta variable se realizó con la ayuda de una wincha de 5 m, la cual se utilizó para conocer el volumen con y sin corteza de los árboles.

Longitud del fuste después de la tala: Esta actividad se realizó posteriormente al troceo. A cada troza se le midió las longitudes con la ayuda de una wincha de 5m.

- **Medición del diámetro mayor y diámetro menor con y sin corteza de cada troza de dos metros del fuste después que el árbol ha sido talado.**

Esta actividad se realizó después del talado, a cada troza de 2 metros se le midió el diámetro mayor y menor con y sin corteza con la ayuda de una wincha de 5 m, lo cual se utilizó para conocer el volumen sin corteza de los árboles. (Fig. 10)

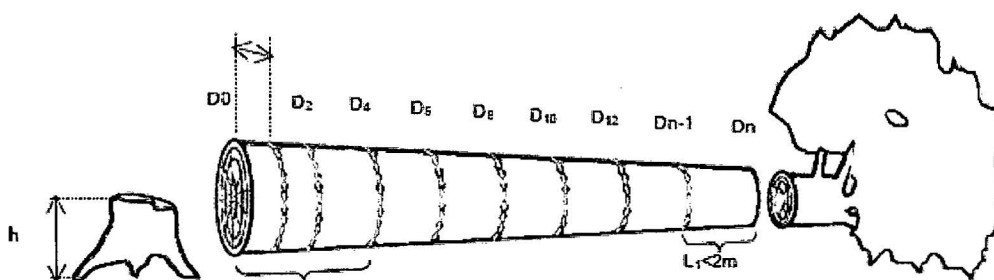


Figura 2. Forma de Colecta de datos de los árboles talados cada dos metros

- **Medición de los árboles talados:** Tocón, ramas con más de 20 cm. de grosor, ramas entre 19,9 y 10 cm de grosor y ramas entre 9,9 y 2 cm de grosor.

Con la finalidad de obtener una muestra representativa de los árboles se midieron 40 árboles que representa el 15% de las 4 especies forestales en estudio existentes en la PCA 2-BQ II, donde se recopilaron información del tocón, ramas con más de 20 cm de grosor, ramas entre 19,9 y 10 cm de grosor y ramas entre 9,9 y 2 cm de grosor, las especies que se registraron los datos son: *Anaueria brasiliensis* “Añuje rumo”, *Hymenaea palustris* “Azúcar huayo” *Dipteryx odorata* “Charapilla” y *Cedrelinga cateniformis* “Tornillo”. (Figura 11)

Los arboles fueron talados a una altura aproximada de 30 cm, aunque en la mayoría de casos se realizó a una altura mayor debido a las condiciones del área del terreno y del fuste de los arboles que fueron seleccionados para el aprovechamiento. (Fig. 12)

c. Probar los modelos volumétricos para especies forestales aprovechables

Modelos de ecuaciones volumétricas que se probaron para determinar el mejor ajuste a las diferentes especies forestales aprovechadas.

1. Modelo Potencial	$Y = b_0 * t^{b_1}$
2. Modelo Lineal	$Y = b_0 + b_1 * t$
3. Modelo Exponencial	$Y = b_0 * (e^{(b_1 * t)})$
4. Modelo Logarítmica	$Y = b_0 + b_1 * \ln(t)$
5. Inversa	$Y = b_0 + (b_1 / t)$
6. Cuadrática	$Y = b_0 + b_1 * t + b_2 * t^{**2}$
7. Cubica	$Y = b_0 + b_1 * t + b_2 * t^{**2} + b_3 * t^{**3}$
8. Compuesto	$Y = b_0 * b_1^{**t}$
9. S-curva	$Y = e^{b_0} + (b_1/t)$
10. Logística	$Y = 1 / (1/u + (b_0 * (b_1^{**t})))$
11. Crecimiento	$Y = e^{(b_0 + (b_1 * t))}$

Dónde:

V= Volumen en m³

D= Diámetro normal

H= Altura total del árbol

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = Coeficientes de regresion

a,b,c, y,d= Constantes a determinar

MEDICIÓN DEL VOLUMEN

- *Árbol en pie*: Este caso se da cuando el árbol aún se encuentra en pie (Figura

3). Entonces se utiliza la siguiente fórmula:

$$V = \frac{3.1415 \times (Dap)^2 \times h \times f}{4}$$

Donde:

V = Volumen de la madera en metros cúbicos

Dap = Diámetro del árbol a la altura del pecho en metros

Hc = Altura comercial del árbol en metros

f = Factor de forma = 0.65

¿Cómo se toman las medidas?

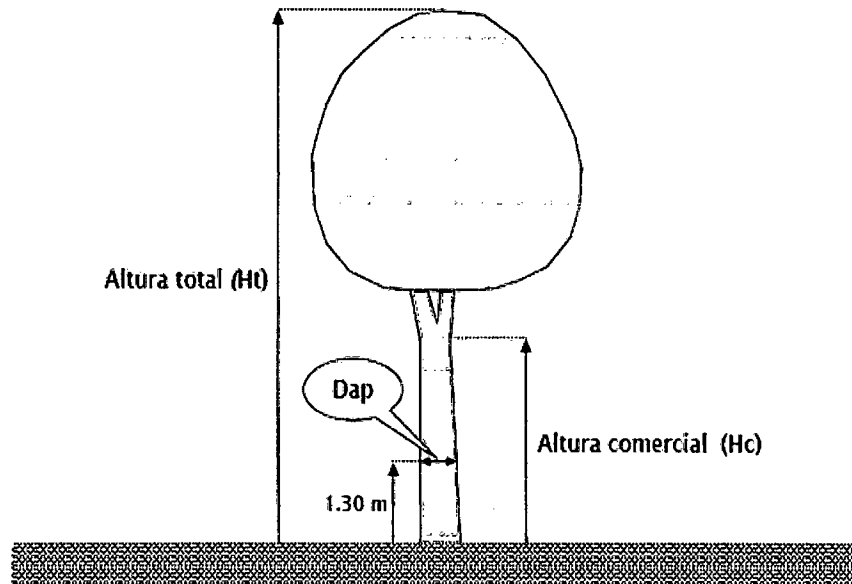


Figura 3. Forma de como se toman las medidas de los arboles en pie

- *Madera en trozas:* Es cuando el árbol ya ha sido tumbado y se encuentra en forma rolliza. (Figura 4)

Fórmula de Smalian: Es una fórmula elaborada por el señor Smalian y utiliza los centímetros y el metro, por lo tanto el resultado será en m³. Para medir el volumen se usa la siguiente fórmula:

$$v_s = 0.7854 \left(\frac{S_0 + S_1}{2} \right)^2 \cdot L$$

Donde:

V = Volumen en m³

L = Largo de la troza en metros

S₀ = Diámetro mayor de la troza en metros

S₁ = Diámetro menor de la troza en metros

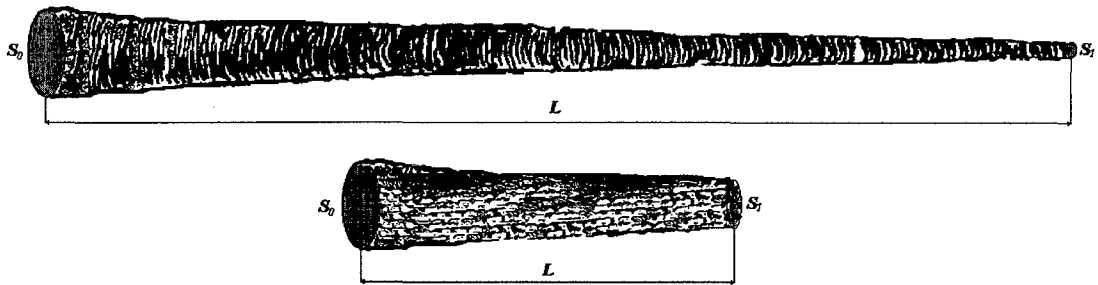


Figura 4. Dimensiones necesarias para la aplicación de la fórmula de Smalian en la determinación de volúmenes de fustes o trozas.

- *Cubicación de Tocones y Ramas:* El tocón de un árbol es la sección inferior ubicada desde el suelo, hasta la altura de corte de derribo del árbol.

Se midió el diámetro de la sección superior ($D1$) y de la sección a nivel del suelo ($D0$), se sacó su promedio y, se obtuvo el área de la sección media y luego se le multiplicó por la altura para estimar el volumen. (Fig. 5)

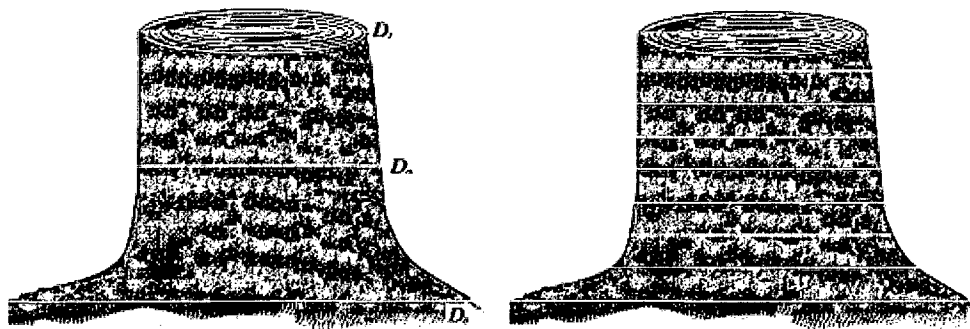


Figura 5. Determinación del volumen de tocones.

En la comercialización de madera, generalmente, se desprecia el volumen representado por el ramaje, ya que de él son pocos los productos madereros que se pueden obtener. Sin embargo, para trabajos de investigación y otros si es importante hacer tal medición.

d. Selección de la ecuación volumétrica que mejor se ajusta a las características volumétricas de cada una de las especies forestales

Para la toma de decisiones, se ha optado por la ecuación volumétrica que presente el mayor coeficiente de correlación (r), mayor coeficiente de determinación (R^2), en el caso de empate, el criterio que se tomó en cuenta es aquel que presentó menor error estándar, y de mantenerse el empate se optó por el modelo matemático que posea la mejor distribución de residuos, de persistir el empate se asumirá aquella ecuación que sea más fácil de trabajar. Los cálculos se realizaron a través del software SPSS 18.

IX. RESULTADOS

9.1. Número de individuos y volumen de las especies forestales aprovechadas de un bosque húmedo tropical del área de estudio

En el Cuadro 3, se presenta las especies forestales aprovechadas del bosque en estudio, donde se puede apreciar que existe un volumen total de 500,55 m³, asimismo, la clase diamétrica de 70 cm es la que reporta el mayor volumen con 137,34 m³, el mismo que asciende al 27,44% del total.

Cuadro 3. Volumen total obtenido de las especies forestales aprovechadas en estudio por clase diamétrica

Especie	Clase diamétrica (cm)								Total (m ³)	%
	40	50	60	70	80	90	100	130		
Añuje rumo	12,93	39,78	54,54	82,73	45,57	42,13	17,88	14,20	309,76	61,88
Azúcar huayo		20,34	55,87	27,41					103,62	20,70
Charapilla			16,97	15,13	20,07				52,16	10,42
Tornillo			3,62	12,08	8,61	10,69			35,01	6,99
Total	12,93	60,12	131,00	137,34	74,25	52,82	17,88	14,20	500,55	100,00

En el Cuadro 4, se observa que el volumen del promedio de las especies forestales aprovechadas en el área de estudio es en promedio 4,31 m³ cuyas longitudes de trozas fueron de 3 m hasta 25 m, siendo las trozas de 12, 16 y 20 m las más comunes en la extracción forestal.

El número de árboles de las especies forestales aprovechadas del bosque en estudio según el largo de la troza y clase diamétrica se presenta en el Cuadro 5, en el cual es posible apreciar que en su mayoría se utilizaron trozas de 12, 16 y 20 m de largo, que representan el 39,83%, 36,44% y 15,52% respectivamente.

Cuadro 4. Volumen del promedio de las especies forestales aprovechadas en el bosque húmedo tropical del área de estudio según el largo de la troza y clase diamétrica

Clase dap (cm)	Largo de la troza (m)							Total
	2	4	8	12	16	20	24	
40				1,63	1,96	2,84		1,85
50		1,11	1,30	2,35	2,86	4,11		2,38
60			2,18	3,20	4,10	5,47	7,19	3,97
70			2,56	4,28	5,63	6,70		5,30
80				5,52	6,90	8,30		7,12
90	1,13			7,64	8,34	10,69		7,55
100				7,31		10,56	13,63	10,50
130					14,20			14,20
Total	1,13	1,11	2,06	3,24	5,25	6,93	10,41	4,31

Cuadro 5. Número de árboles de las especies forestales aprovechadas en el bosque húmedo tropical del área de estudio según el largo de la troza y clase diamétrica

Clase dap (cm)	Largo de la troza (m)							Total
	2	4	8	12	16	20	24	
40				5	1	1		7
50		2	1	18	5	1		27
60			2	10	16	4	1	33
70			1	9	12	6		28
80				3	4	4		11
90	1			1	4	1		7
100						1	1	2
130					1			1
Total	1	2	4	46	43	18	2	116

En el Cuadro 6, se muestra el volumen del promedio de la especie *Anaueria brasiliensis* "añuje rumbo" aprovechada en el bosque en estudio, en el cual se reporta que la extracción se realizó generalmente en trozas de 12, 16 y 20 m de largo cuyos diámetros varían entre 40 cm a 130 cm, con un volumen promedio de 4,21 m³.

Cuadro 6. Volumen del promedio de madera del Añuje rumo aprovechada en el bosque húmedo tropical del área de estudio, según el largo de la troza y clase diamétrica

cdap (cm)	Largo de la troza (m)						N° Indiv.	Vol. Total	Total Promedio
	0	4	8	12	16	20			
40				1,63	1,96	2,84	7	12,95	1,85
50		1,47	1,30	2,25	2,73		19	40,08	2,11
60			2,00	2,40	3,99	5,28	14	46,51	3,32
70			2,56	4,42	5,69	6,91	18	92,89	5,16
80				4,73	6,15	7,46	7	44,25	6,32
90	1,13			7,64	8,34		6	42,83	7,14
100				7,31		10,56	2	17,87	8,94
130					14,20		1	14,20	14,20
Total	1,13	1,47	1,95	2,97	5,59	6,50	74	311,58	4,21

El volumen del promedio de la especie *Hymenaea palustris* "azúcar huayo" aprovechada en el bosque en estudio se exhibe en el Cuadro 7, en el cual se puede observar que la extracción se realizó generalmente en trozas de 12, 16 y 20 m de largo cuyos diámetros varían entre 50 cm a 70 cm, con un volumen promedio de 3,92 m³.

Cuadro 7. Volumen del promedio de madera del azúcar huayo aprovechada en el bosque húmedo tropical del área de estudio, según el largo de la troza y clase diamétrica

cdap (cm)	Largo de la troza (m)						N° Indiv.	Vol. Total	Total Promedio
	4	8	12	16	20	24			
50	0.74		2.69	2.95			8.00	20.35	2.54
60		2.36	3.49	4.39	6.04	7.19	14.00	59.38	4.24
70			4.15		7.48		4.00	23.26	5.82
Total	0.74	2.36	3.38	3.91	7.00	7.19	26.00	101.79	3.92

En el Cuadro 8, se presenta el volumen del promedio de la especie *Dipteryx odorata* "charapilla" aprovechada en el bosque en estudio, en el cual se muestra

que la extracción se realizó en su mayoría en trozas de 12, 16 y 20 m de largo cuyos diámetros varían entre 60 cm a 80 cm, con un volumen promedio de 4,74 m³.

Cuadro 8. Volumen del promedio de madera de la charapilla aprovechada en el bosque húmedo tropical del área de estudio, según el largo de la troza y clase diamétrica

cdap (cm)	Largo de la troza (m)			N° Indiv.	Vol. Total	Total Promedio
	12	16	20			
60	3.31	3.73		5	16.97	3.39
70	3.96	5.47	5.70	3	15.13	5.04
80	5.91		8.26	3	20.08	6.69
Total	4.14	4.60	6.98	11	52.18	4.74

El volumen del promedio de la especie *Cedrelinga cateniformis* "tornillo" aprovechada en el bosque en estudio se muestra en el Cuadro 9, en el cual se puede observar que la extracción se realizó generalmente en trozas de 16 y 20 m de largo cuyos diámetros varían entre 60 cm a 90 cm, con un volumen promedio ponderado de 7,00 m³.

Cuadro 9. Volumen del promedio de madera del tornillo aprovechada en el bosque húmedo tropical del área de estudio, según el largo de la troza y clase diamétrica

cdap (cm)	Largo de la troza (m)		N° Indiv.	Vol. Total	Total Promedio
	16	20			
60	3.62		1	3.62	3.62
70	5.28	6.80	2	12.08	6.04
80	8.61		1	8.61	8.61
90		10.69	1	10.69	10.69
Total	5.84	8.75	5	35.00	7.00

9.2. Modelos volumétricos para las especies forestales aprovechadas en un bosque húmedo tropical del área de estudio

A continuación se presentan los resultados de la investigación de las relaciones volumétricas $V = f(\text{DAP}, \text{altura})$, basado en cuatro métodos de cálculo. El primer método consistió en determinar el volumen del árbol de cada especie calculado con la fórmula de Smalian en base al diámetro mayor y menor de cada segmento de la troza comercial (cada dos metros). El segundo método consistió en determinar el volumen del árbol de cada especie calculado con la fórmula de Smalian en base al diámetro mayor y menor de la troza comercial (largo total). El tercer método de cálculo tomó en cuenta el volumen de madera obtenido mediante el primer método, y se le adicionó el volumen de la madera del tocón y de las ramas del árbol. El cuarto método corresponde al volumen de madera del árbol tomando en cuenta la altura total del árbol, y un factor de forma de 0,65 que se usa en el Perú.

Cuadro 10. Valores estadísticos del factor de forma de los árboles por método de cálculo

Métodos de cálculo	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Método 1: Con trozas de 2 metros	58	0.72	.15041	.01975	.68	.76
Método 2: largo comercial	116	0.76	.0796	.00739	.74	.77
Método 3: Con trozas de 2 metros +tocón y ramas	38	0.80	.21113	.03423	.73	.87
Método 4: Tradicional $ff=0,65$	116	0.65	.00000	.0000	.65	.65
Total	328	0.72	.11896	.0065	.70	.73



En el Cuadro 10, se observa que el factor de forma del fuste de los árboles calculado en función al primer método es 0,72; para el segundo método le corresponde 0,76; para el tercer método 0,80, mientras que para el cuarto método se reporta un valor de 0,65; por lo que se indica que el factor de forma correspondiente a los tres primeros métodos es mayor al valor del factor de forma tradicional (0,65), tal como se aprecia en el presente cuadro.

En el Cuadro 11, se observa que hay diferencia estadística significativa del factor de forma entre métodos de cálculo ($F_c=28,257$; GI intergrupos=3; GI intragrupo (error)=324; P -valor=0,000). La diferencia se aprecia en el Cuadro 12, donde el valor promedio del factor de forma calculado usando el método de Smalian con trozas de 2 metros y en función del largo total de la troza (método 2) y con el método 3 son estadísticamente superiores al factor de forma oficial (0,65).

Cuadro 11. Análisis de varianza para el factor de forma de los árboles entre métodos de cálculo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.960	3	.320	28.257	.000
Intra-grupos	3.668	324	.011		
Total	4.628	327			

Cuadro 12. Prueba de rangos múltiples con Tukey para la diferencia de promedios del factor de forma

Método	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Método 4: Altura total_tradic	116	.650000		
Método 1: Con trozas de 2 metros	58		.719613	
Método 2: DAP mayor y menor largo comercial	116		.758130	.758130
Método 3: método 1+tocón y ramas	38			.796869
Sig.		1.000	.163	.159

Los valores estadísticos del factor de forma de los árboles por especies calculado en base a los resultados del método 1, método 2 y método 3, que se muestran en el Cuadro 13, varían levemente entre especies. Pero en el Cuadro 14, se observa que no hay diferencia significativa en el factor de largo del grupo de especies entre los métodos de cálculos empleados. Por lo que el factor de forma para estimar volúmenes de madera comercial varía de 0,71 a 0,79

Cuadro 13. Valores del promedio, desviación estándar, error estándar y límite de confianza para el factor de forma calculado usando entre métodos de cálculos y por especie

Método de cálculo	Especies	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Método 1: Calculado con diámetro mayor y menor en trozas de 2 metros	Añuje rumo	49	0,731	0,146	0,021	0,689	0,773
	Azúcar huayo	5	0,615	0,135	0,060	0,447	0,783
	Charapilla	1	0,820
	Tornillo	3	0,671	0,241	0,139	0,073	1,269
	Promedio	58	0,720	0,150	0,020	0,680	0,759
Método 2: Calculado con el diámetro mayor y menor del fuste comercial	Añuje rumo	74	0,748	0,079	0,009	0,729	0,766
	Azúcar huayo	26	0,790	0,080	0,016	0,758	0,823
	Charapilla	11	0,774	0,079	0,024	0,721	0,827
	Tornillo	5	0,710	0,040	0,018	0,661	0,760
	Promedio	116	0,758	0,080	0,007	0,743	0,773
Método 3: Calculado con trozas 2 metros +ramas y tocón	Añuje rumo	23	0,728	0,197	0,041	0,642	0,813
	Azúcar huayo	8	0,920	0,149	0,053	0,796	1,045
	Charapilla	4	1,017	0,240	0,120	0,635	1,399
	Tornillo	3	0,705	0,086	0,050	0,492	0,918
	Promedio	38	0,797	0,211	0,034	0,727	0,866

Ahora el factor de fuste sin tomar en cuenta el método de cálculo (Cuadro 15), muestra que no hay diferencia estadística, es decir el factor de fuste entre especies de tornillo, añuje rumo y azúcar huayo son similares (significancia= 0,162), este promedio del factor de fuste es estadísticamente diferente de la charapilla.

Cuadro 14. Prueba de Tukey para el factor de forma promedio de las especies forestales

Cod_sp	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	
Tornillo	5	0.710	
Añuje rumo	74	0.747	
Charapilla	11	0.77	
Azúcar huayo	26	0.79	
Sig.		0.068	

Cuadro 15. Contraste del promedio del factor de forma de los fustes entre especies forestales

Cod_sp	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Tornillo	3	0.70	
Añuje rumo	23	0.73	
Azúcar huayo	8	0.92	0.92
Charapilla	4		1.02
Sig.		.162	.407

Cuadro 16. Valores estadísticos para el volumen promedio de fustes por método de cálculo

Métodos	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Método 1: Con trozas de 2 metros	58	3.79	2.3381	.30701	3.1783	4.4079
Método 2: largo comercial	116	4.27	2.3261	.21598	3.8455	4.7011
Método 3: Con trozas de 2 metros +tocón y ramas	38	7.72	3.5379	.57394	6.5567	8.8825
Método 4: Altura total _tradic	116	5.89	3.4798	.32309	5.2541	6.5341
Total	328	5.16	3.1770	.17542	4.8157	5.5060

El Cuadro 16, muestra el volumen promedio de los fustes entre métodos que se cálculo, siendo el mayor con el método de cálculo estimados en función de la altura total que es la que más se acerca al cálculo del volumen real del árbol, el análisis de varianza del Cuadro 17, evidencia que existe diferencia estadística significativa entre promedios; siendo mayor el volumen calculado con el método tradicional que la ecuación de volumen incluye a la altura total del árbol (Cuadro 18).

Cuadro 17. Análisis de varianza para el volumen entre trozas

	Suma de cuadrados	GI	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	511.037	3	170.346	19.785	.000
Intra-grupos	2789.579	324	8.610		
Total	3300.616	327			

Cuadro 18. Contraste con la prueba de Tukey

Método	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Con trozas de 2 metros	58	3.79		
largo comercial	116	4.27		
Altura total_tradicional	116		5.89	
Con trozas de 2 metros +tocón y ramas	38			7.72
Sig.		.78	1.00	1.00

9.3. Aplicación de modelos estadísticos para elegir el modelo que mejor se ajusta a las características volumétricas de cada una de las especies forestales consideradas en un bosque húmedo tropical del área de estudio

Para probar los modelos volumétricos para especies forestales aprovechadas en el bosque húmedo tropical del área de estudio, se ha corrido la data en el SPSS 18. A partir de los resultados obtenidos para los diferentes modelos estadísticos se ha seleccionado el modelo que mejor se ajustó a las características volumétricas de cada una de las especies forestales en estudio para los cuatro métodos de cálculo del volumen.

a) Fórmula del método 1

Los resultados de los Cuadros 19, 20, 21, 22, 23, 24 y 25 fueron calculados para todas las especies estudiadas en la selección del modelo de regresión lineal y no lineal.

En el Cuadro 19, se visualiza un resumen de la salida de los resultados de ajustar 11 modelos de regresión lineal y no lineal para describir la relación entre el volumen de madera en troza con corteza calculada con el primer método que consistió en determinar el volumen del árbol de cada especie con la fórmula de Smalian en base al diámetro mayor y menor de cada segmento de la troza comercial (cada dos metros) (y) y el diámetro mayor de las trozas como variable independiente, para ello se han procesado datos de 116 árboles de diferentes especies. Además es posible observar que los modelos compuesto, crecimiento, exponencial y logística presentan el más alto coeficiente de determinación con 66,4% y el menor lo reporta el modelo inversa con 53,20%. Mientras que en el Cuadro 20 se muestra el modelo $V=b_1 D^2 L$, siendo el modelo ajustado $y =$

0,00005408*D²*largo, mientras que el R² explica que el modelo ajustado revela que la variabilidad en volumen de madera representa el 84,5% (Cuadro 21); El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,0000.

Cuadro 19. Ecuaciones volumétricas del volumen calculado con el primer método que consistió en determinar el volumen del árbol de cada especie calculado con la fórmula de Smalian en base al diámetro mayor y menor de cada segmento de la troza comercial (cada dos metros)

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros			
	R ²	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	.608	86.898	1	56	.000	-4.799	.125		
Logarítmica	.576	76.215	1	56	.000	-31.556	8.399		
Inversa	.532	63.607	1	56	.000	11.891	-		
							533.072		
Cuadrático	.629	46.687	2	55	.000	2.785	-.096	.002	
Cúbico	.629	46.721	2	55	.000	.396	.011	.000	7.231E-6
Compuesto	.664	110.447	1	56	.000	.370	1.032		
Potencia	.661	109.122	1	56	.000	.000	2.172		
S	.641	99.958	1	56	.000	3.320	-		
							141.340		
Crecimiento	.664	110.447	1	56	.000	-.995	.032		
Exponencial	.664	110.447	1	56	.000	.370	.032		
Logística	.664	110.447	1	56	.000	2.704	.969		

La variable independiente es DAP.

Cuadro 20. Ecuaciones volumétricas del volumen (calculado con la fórmula $V=b1*DAP^2*largo$)

Parámetro	Estimación	Error típico	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
dimensión b1	5.408E-5	.000	5.107E-5	5.709E-5

Cuadro 21. Análisis de varianza para el uso de la ecuación volumétricas del volumen (calculado con la fórmula $V=b_1 \cdot DAP^2 \cdot \text{largo}$)

Origen	Suma de cuadrados	Gl	Medias cuadráticas
Regresión	1097.691	1	1097.691
Residual	48.384	57	.849
Total sin corrección	1146.075	58	
Total corregido	311.598	57	

a. $R^2 = 1 - (\text{Suma de cuadrados residual}) / (\text{Suma corregida de cuadrados}) = 0,845$

b) Fórmula del método 2

El resumen de la salida de los resultados de ajustar 11 modelos de regresión lineal y no lineal para describir la relación entre el volumen de madera en troza con corteza calculada con el segundo método se presenta en el Cuadro 22, que consistió en determinar el volumen del árbol de cada especie con la fórmula de Smalian en base al diámetro mayor y menor de cada segmento de la troza comercial (largo total), en relación al DAP del tronco correspondiente al modelo cúbico. Asimismo, en el mencionado cuadro se reporta al modelo cúbico con el más alto coeficiente de determinación con 76,7% y el menor lo presentan los modelos compuesto, crecimiento, exponencial y logística con el 64,6%. Mientras que en el (Cuadro 23), se muestra la ecuación alométrica del volumen calculado con la fórmula $V=b_1 \cdot DAP^2 \cdot \text{largo}$, siendo el modelo ajustado $y = 0,00005743 \cdot D^2 \cdot \text{largo}$ de la troza; mientras que el estadístico R^2 revela que el modelo ajustado explica que la variabilidad en volumen de madera representa el 77,9% (Cuadro 24).

Cuadro 22. Ecuaciones volumétricas del volumen calculado con el método 2 que consistió en determinar el volumen del árbol de cada especie calculado con la fórmula de Smalian en base al diámetro mayor y menor de la troza comercial (largo total)

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros			
	R ²	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	.766	373.204	1	114	.000	-5.335	.143		
Logarítmica	.749	341.069	1	114	.000	-38.326	10.179		
Inversa	.708	275.995	1	114	.000	14.638	-668.287		
Cuadrático	.766	184.975	2	113	.000	-5.223	.140	2.025E-5	
Cúbico	.767	122.875	3	112	.000	-9.078	.292	-.002	7.532E-6
Compuesto	.646	207.917	1	114	.000	.478	1.031		
Potencia	.692	256.391	1	114	.000	.000	2.276		
S	.709	278.017	1	114	.000	3.727	-155.656		
Crecimiento	.646	207.917	1	114	.000	-.738	.031		
Exponencial	.646	207.917	1	114	.000	.478	.031		
Logística	.646	207.917	1	114	.000	2.091	.970		

Cuadro 23. Ecuaciones volumétricas del volumen (calculado con la fórmula $V=b1 \cdot DAP^2 \cdot \text{largo}$)

Parámetro	Estimación	Error típico	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
b1	,000057430	,000001220	,000055013	,000059847
b0	,000	,000	,000	,000
b2	,000	,000	,000	,000

Cuadro 24. Análisis de varianza para el uso de la ecuación volumétricas del volumen (calculado con la fórmula $V=b1 \cdot DAP^2 \cdot \text{largo}$)

Origen	Suma de cuadrados	gl	Medias cuadráticas
Regresión	2727.895	3	909.298
Residual	139.086	113	1.231
Total sin corrección	2866.981	116	
Total corregido	628.414	115	

a. $R^2 = 1 - (\text{Suma de cuadrados residual}) / (\text{Suma corregida de cuadrados}) = 0,779$.

d) Fórmula del método 3

Cuadro 25. Ecuaciones volumétricas del volumen calculado con los resultados del tercer método en donde se tomó en cuenta el volumen de madera obtenido mediante el primer método, y se le adicionó el volumen de la madera del tocón y de las ramas del árbol

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros			
	R ²	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	.692	80.942	1	36	.000	-7.764	.217		
Logarítmica	.671	73.409	1	36	.000	-57.056	15.236		
Inversa	.636	62.794	1	36	.000	22.494	-1019.11		
Cuadrático	.699	40.646	2	35	.000	-.116	.002	.001	
Cúbico	.699	40.648	2	35	.000	.039	.000	.001	4.515E-7
Compuesto	.708	87.104	1	36	.000	.938	1.029		
Potencia	.716	90.802	1	36	.000	.001	2.020		
S	.709	87.590	1	36	.000	3.946	-138.070		
Crecimiento	.708	87.104	1	36	.000	-.064	.028		
Exponencial	.708	87.104	1	36	.000	.938	.028		
Logística	.708	87.104	1	36	.000	1.066	.972		

La variable independiente es D mayor_cm.

El resumen de la salida de los resultados de ajustar 11 modelos de regresión lineal y no lineal para describir la relación entre el volumen calculado con los resultados del tercer método (Cuadro 25), donde se tomó en cuenta el volumen de madera obtenido mediante el primer método, y se le adicionó el volumen de la madera del tocón y de las ramas del árbol. Así mismo el estadístico R², indica que el modelo, así ajustado, explica hasta 71,6% de la variabilidad en el volumen de madera del árbol (incluye tronco + tocón + ramas) que se logra con el modelo potencia cuya ecuación es $Y = b_0 * t^{b_1}$; que se traduce en volumen total del árbol = $0,001 * DAP^{2,020}$.

e) Fórmula método 4

El resumen de la salida de los resultados de ajustar 11 modelos de regresión lineal y no lineal para describir la relación entre el volumen de madera del árbol

tomando en cuenta la altura total del árbol y un factor de forma de 0,65 que se usa en el Perú (Cuadro 26). Asimismo, en el mencionado cuadro se reporta al modelo cúbico con el más alto coeficiente de determinación con 91,1% y el menor lo presenta el modelo Inversa con el 73,1%. Finalmente en la salida del (Cuadro 27), se muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión no lineal para describir la relación entre volumen de madera en troza con corteza y dos variables independientes (DAP y largo de la troza). La ecuación del modelo ajustado es: $y = 0,00007937 \cdot D^2 \cdot \text{largo de la troza}$, pues el estadístico R^2 revela que el modelo ajustado explica que la variabilidad en volumen de madera representa el 84,8 % por lo que el modelo $V = b_1 D^2 L$ del Cuadro 28 fue el más eficiente para estimar el volumen; el error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,0000.

Cuadro 26. Ecuaciones volumétricas del volumen (calculado usando los resultado del cuarto método corresponde al volumen de madera del árbol tomando en cuenta la altura total del árbol, y un factor de forma 0,65 que se usa en el Perú

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros			
	R ²	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	.875	797.437	1	114	.000	-9.582	.228		
Logarítmica	.811	487.690	1	114	.000	-60.238	15.757		
Inversa	.731	309.131	1	114	.000	21.390	-1010.786		
Cuadrático	.908	558.155	2	113	.000	.181	-.041	.002	
Cúbico	.911	379.933	3	112	.000	-9.036	.322	-.003	1.801E-5
Compuesto	.865	731.177	1	114	.000	.510	1.035		
Potencia	.900	1024.043	1	114	.000	.000	2.490		
S	.899	1014.593	1	114	.000	4.213	-168.140		
Crecimiento	.865	731.177	1	114	.000	-.673	.034		
Exponencial	.865	731.177	1	114	.000	.510	.034		
Logística	.865	731.177	1	114	.000	1.960	.967		

Cuadro 27. Ecuaciones volumétricas del volumen (calculado con la fórmula $V=b_1 \cdot DAP^2 \cdot \text{largo}$).

Parámetro	Estimación	Error típico	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
b1	7.937E-5	.000	7.639E-5	8.236E-5
dimensión b0	.000	.000	.000	.000
b2	.000	.000	.000	.000

Cuadro 28. Análisis de varianza para el uso de la ecuación volumétricas del volumen (calculado con la fórmula $V=b_1 \cdot DAP^2 \cdot \text{largo}$)

Origen	Suma de cuadrados	gl	Medias cuadráticas
Regresión	5210.689	3	1736.896
Residual	211.714	113	1.874
Total sin corrección	5422.403	116	
Total corregido	1392.559	115	

a. R cuadrado = $1 - (\text{Suma de cuadrados residual}) / (\text{Suma corregida de cuadrados}) = ,848$.

De todos los modelos seleccionados el modelo no lineal descrito por la fórmula $V=b_1 D^2 H$, donde la variable dependiente es el volumen de madera con corteza (V) y las variables independientes son el diámetro mayor de la troza (D) y el largo de la misma (H) se presenta en el Cuadro 29. Asimismo, es posible indicar que la especie añuje rumo presenta el más alto coeficiente de determinación con 0,96 y el menor reporta la especie azúcar huayo con 0,90.

Cuadro 29. Resumen del mejor modelo para realizar las estimaciones de los parámetros para el volumen de madera con corteza a partir del diámetro mayor y el largo del tronco

Especies	Modelo	R ²	Parámetro	Estimación	Error típico	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Todas	$V=b_1 D^2 H$	0,953	Dimensión b1	5.8292E-5	.000	5.710E-5	5.9475E-5
Añuje rumo	$V=b_1 D^2 H$	0,963	Dimensión b1	6.234E-5	.000	6.011E-5	6.457E-5
Azúcar huayo	$V=b_1 D^2 H$	0,90	Dimensión b1	6.412E-5	.000	6.129E-5	6.695E-5

X. DISCUSIONES

1. Número de individuos y volumen de las especies forestales aprovechadas del área de estudio

Por el Cuadro 3, se percibe que entre las especies forestales aprovechadas, hubo mayor presencia de *Anaueria brasiliensis* "añuje rumo" con un aporte de 309,76 m³ que representa el 61,88% del volumen total, seguido de la especie *Hymenaea palustris* "azúcar huayo" con 103,62 m³ (20,70%), *Dipteryx odorata* "charapilla" con 52,16 m³ (10,42%) y finalmente *Cedrelinga cateniformis* "tornillo" con 35,01m³ (6,99%). Esto indica que en la extracción forestal la especie añuje rumo fue la más importante, pudiéndose advertir su importancia en el mercado local del Putumayo; y esto es esencial para la economía de los pobladores de la comunidad Nativa de Santa Mercedes. Además esta madera es de fácil aserrío y se le considera entre las maderas rojas y pesadas que sirven para la construcción en general y ebanistería (Pacheco, 1999).

En los resultados se observa que la extracción de la especie añuje rumo, se realiza generalmente en trozas de 12, 16 y 20 metros de largo y sus diámetros varían entre 40 cm a 130 cm; mientras que en la extracción de la especie azúcar huayo también se realizan habitualmente en trozas de 12, 16 y 20 metros de largo, y sus diámetros varían entre 50 cm a 70 cm. Esto nos indica que el análisis de regresión se debe realizar en las clases diamétricas de 12 y 16 metros. Por otro lado en la extracción de la especie charapilla también se realiza corrientemente en trozas de 12, 16 y 20 metros de largo, y sus diámetros varían entre 60 cm a 80 cm. Del mismo modo se sugiere que el análisis de regresión debe realizarse en las clases diamétricas de 12 metros. Seguidamente en la

extracción de la especie tornillo, se realizan generalmente en trozas de 16 y 20 metros de largo, y sus diámetros varían entre 60 cm a 90 cm. Esto también sugiere que el análisis de regresión debe realizarse en las clases diamétricas de 16 y 20 metros. Torriente (2009), en un trabajo sobre obtención de modelos matemáticos para la elaboración de tablas de volumen de madera en bolo para cuatro especie de latifolias de la ciénaga de zapata, menciona que para la obtención del volumen por análisis de regresión se tiene como variables dependientes el volumen con y sin corteza y como independientes el largo y diámetro en la base.

2. Modelos volumétricos probados para especies forestales aprovechadas en un bosque húmedo tropical de la comunidad nativa Santa Mercedes

De acuerdo a la legislación peruana se usa un factor de forma de fuste de 0,65 en promedio; pero este factor depende de la especie forestal y del método empleado para su cálculo (Cuadro 10). El factor de forma de fuste calculado con el primer método usando el volumen de trozas de 2 metros de largo con el método de Smalian fue de 0,72; este factor calculado con el segundo método, o sea en función del largo del fuste comercial fue de 0,76, y cuando al volumen calculado en el primer método se adiciona el volumen del tocón y ramas fue 0,80. Es decir, si se desea estimar el volumen de madera comercial para este grupo de especies (Añuje rumo, azúcar huayo, charapilla y tornillo) se debe usar un factor de forma del fuste de 0,72 o 0,76; pero si se está interesado en calcular el volumen total del árbol con fines de biomasa y carbono se debe usar de 0,80.

En el Cuadro 14, se muestra los valores estadísticos del factor de forma de los árboles por especies obtenidos en base a los métodos evaluados, donde se

puede apreciar claramente que varían ligeramente entre especies; mientras que en el Cuadro 15, se reporta que no hay diferencia significativa en el factor de largo del grupo de especies entre los métodos de cálculos empleados. Por lo que el factor de forma para estimar volúmenes de madera comercial varía de 0,71 a 0,79.

El factor de fuste sin tomar en cuenta el método de cálculo se presenta en el Cuadro 16, donde es posible observar que no hay diferencia estadística, es decir el factor de fuste entre especies de tornillo, añuje rumo y azúcar huayo son similares (significancia = 0,162), este promedio del factor de fuste es estadísticamente diferente de la charapilla. Delgado (2005), para un estudio sobre factor de forma preliminar para seis familias de especies forestales tropicales manifiesta que la cubicación de un árbol en pie, es una operación estadística que depende de la especie, dimensiones y forma de ese árbol. Estas ecuaciones se construyen por medio de métodos estadísticos de regresión, analizando qué forma matemática se adapta mejor a cada especie, forma y territorio histórico con el fin de calcular la variable dependiente (volumen) en función de las variables independientes (diámetro y altura), tal como se desarrolló en el estudio. El hecho de que los factores de forma sean diferentes concuerda con lo indicado por Lojan (1954), cuando dice que el volumen de un árbol depende: del diámetro, altura comercial y la forma de la copa, esta última presenta algunas dificultades para su medición, especialmente en los bosques heterogéneos, donde cada árbol tiene una forma diferente. Y según Ojeda (2001), los factores de forma varían de acuerdo a las características fenotípicas de los árboles, siendo estas características, parte de los factores que permite clasificarlos en grupos botánicos, como es el caso de las familias.

3. Modelos estadísticos para elegir el modelo que mejor se ajusta a las características volumétricas de cada una de las especies forestales evaluadas

a) Formula del método 1

El estadístico R^2 del Cuadro 19, indica que el modelo, así ajustado, explica hasta 66,4% de la variabilidad en el volumen de madera en función del diámetro de la troza se logra con el modelo compuesto, crecimiento, exponencial y logística. Como este valor es muy bajo el volumen se relacionó con el DAP y el largo de la troza, esta salida que se observa en la tabla 20, muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión no lineal para describir la relación entre volumen de madera en troza con corteza (y) y 2 variables independientes (DAP y largo de la troza). La ecuación del modelo ajustado es: $y = 0,00005408 \cdot D^2 \cdot \text{largo de la troza}$. Pues el estadístico R^2 indica que el modelo, así ajustado, explica 84,5% de la variabilidad en volumen de madera en troza con corteza (y) (Cuadro 21); por lo que el modelo $V = b_1 D^2 L$ del Cuadro 20 fue el más eficiente para estimar el volumen. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,0000. Salas (2002), indica para un estudio sobre ajuste y validación de ecuaciones de volumen para un relicto del bosque de roble-laurel-linque, que los resultados de las ecuaciones alométricas generadas por la regresión lineal y por la no lineal fueran semejantes, se debe mantener la regresión lineal, por ser la más simple y para aquellas especies que la regresión lineal presentan un R-cuadrado menor que 0,8 y las curvas alométricas difieran, será utilizada la regresión no lineal. Mientras que Glade (1988), en un trabajo sobre "Ecuaciones de volumen para *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en el Noreste Entre Ríos", revela que no tuvieron en cuenta a ninguno de los modelos

generados para incluirlos en las clasificaciones matemáticas y dasométricas, de los 11 modelos ensayados porque todos tuvieron un buen comportamiento, por lo que la elección del modelo a usarse quedará a criterio del usuario.

b) Fórmula del método 2

El estadístico R^2 del Cuadro 22, muestra que el modelo, así ajustado, explica hasta 76,7% de la variabilidad en el volumen del árbol de cada especie calculado con la fórmula de Smalian en base al diámetro mayor y menor de la troza comercial (largo total), en la relación al DAP del tronco corresponde al modelo cúbico. Pero, la salida (Cuadro 23) muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión no lineal para describir la relación entre volumen de madera del tronco comercial con corteza (y) y 2 variables independientes (DAP y largo de la troza). La ecuación del modelo ajustado es: $y = 0,00005743 * D^2 * \text{largo de la troza}$. Pues el estadístico R^2 indica que el modelo, así ajustado, explica 77,9% de la variabilidad en volumen de madera (Cuadro 24); por lo que el modelo $V = b_1 D^2 L$ del Cuadro 23 fue el más eficiente para estimar el volumen. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,0000.

En los resultados obtenidos por Henry (2003), en un estudio sobre modelos matemáticos para estimar el volumen de madera en bolo de las especies *Calophyllum antillanum* Britton. (ocuje) y *Bucida palustris* Borhidi (júcaro de ciénaga), se determinó que el modelo con transformación logarítmica y variables independientes diámetro en la base, longitud y conicidad promedio del bolo, fue escogido para estimar el volumen con corteza y sin ella debido a que aportaron buenos ajustes estadísticos, además superan a las otras ecuaciones por su gran

aplicación práctica al medir el diámetro en la base que resulta más fácil medir cuando la madera se encuentra apilada.

c) Fórmula del método 3

El estadístico R^2 del Cuadro 25, indica que el modelo, así ajustado, explica hasta 71,6% de la variabilidad en el volumen de madera del árbol (incluye tronco + tocón + ramas) que se logra con el modelo potencia cuya ecuación es $Y = b_0 \cdot t^{b_1}$; que se traduce en volumen total del árbol = $0,001 \cdot DAP^{2,020}$.

d) Fórmula método 4

El estadístico R^2 del Cuadro 26, indica que el modelo, así ajustado, explica hasta 91,1% de la variabilidad en el volumen total del árbol con corteza que se logra con el modelo cúbico. Para ello el volumen de madera del árbol tomando en cuenta la altura total del árbol, y un factor de forma de 0,65 que se usa en el Perú.

Finalmente la salida (Cuadro 27) muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión no lineal para describir la relación entre volumen de madera en troza con corteza (y) y 2 variables independientes (DAP y largo de la troza). La ecuación del modelo ajustado es: $y = 0,00007937 \cdot D^2 \cdot \text{largo de la troza}$. Pues el estadístico R^2 indica que el modelo, así ajustado, explica 84,8% de la variabilidad en volumen de madera en troza con corteza (y); por lo que el modelo $V = b_1 D^2 L$ del Cuadro 28 fue el más eficiente para estimar el volumen. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,0000.

El R^2 indica fuerte asociación entre estas variables, puesto que el R^2 fue de 95,3% cuando se incluye a todas las especies y 96,3% para el añuje rumo, mientras que en el azúcar huayo con un R^2 de 0,90 constituye el mejor modelo

para relacionar esta variable a pesar del bajo número de individuos. Por lo que se acepta la hipótesis de que el volumen de las especies forestales de un bosque húmedo tropical de la comunidad nativa Santa Mercedes tiene una tendencia diferente a la lineal, cuya ecuación $V=b_1 D^2 H$ puede ser usado para estimar el volumen de maderas en trozas conociendo el diámetro mayor de la troza y su largo. Escobar (2007), manifiesta que para saber si el modelo seleccionado es el adecuado, se parte de suponer que no cualquier conjunto de datos se ajustará a un determinado modelo, por lo que es conveniente realizar algunas observaciones estadísticas básicas que presentan las salidas de los ajustes, los paquetes estadísticos, por ejemplo, ponen especial cuidado con el coeficiente de determinación y el cuadrado medio del error en la tabla de análisis de varianza. También se puede hacer un análisis de residuales, graficando éstos con respecto a los valores de las variables predictoras. Los elementos de juicio que permiten a un investigador escoger el mejor de un grupo de modelos estadísticos son los dos estimadores siguientes: la varianza del estimador (o su raíz cuadrada, el error estándar) y el coeficiente de determinación múltiple (R^2). Por su parte Torriente, (2009), indica que en el proceso de medición de la madera en trozas se mezclan al menos 4 especies; además, el medidor tiene que cuantificar diariamente no solo esta producción, sino otros surtidos. Por tanto el objetivo del trabajo fue verificar la posible unión de los datos para obtener una sola ecuación para todas las especies y así facilitar con el uso de las tablas de volumen el trabajo en el campo y en los aserraderos

Pacheco (2011), para la elaboración de tablas de Volumen para *Quercus laurina* en la Comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca", manifiesta que fue necesario

definir cuál de los 6 modelos ajustados tiene la mayor bondad de ajuste a los datos, con los valores correspondientes de los principales indicadores estadísticos considerados. De los modelos ajustados se observa que todos tienen una variabilidad aproximada de 0,05, por lo tanto muestran una buena bondad de ajuste a un nivel de significancia de 5 %. En cuanto al valor del coeficiente de determinación se observa que se obtuvieron valores altos, lo cual indica que la mayoría de los modelos son altamente significativos, sin embargo el modelo Exponencial presenta el valor más alto correspondiente a 98.23% en comparación con el modelo de la variable combinada que presentó el valor más bajo con 96.96%, los cuales difieren al ser comparado con los resultados obtenidos en el presente estudio.

En suma en los cuatro métodos el que mejor relaciona el volumen de madera en función del DAP y altura total es la ecuación $V=b_1 D^2 H$, que es diferente a lo recomendado por Pacheco (2011) para las especies forestales del grupo I (quillosa y requia), el que presentó el mejor ajuste fue el modelo potencial de Mervat $V= \text{Log } V = \text{Log } a + b \text{ Log } D$, con un coeficiente de determinación de $R^2 = 95,2\%$ y un error estándar de estimación de $S_{xy}\% = 7,08\%$ siendo la ecuación final $V = \text{Antilog } (-4,022808 + 2,49495 \text{ Log } D)$. El modelo exponencial de tipo I, Meyer $V = \text{Log } V = \text{Log } a + bD$, con un coeficiente de determinación $R^2 = 98,3\%$ y un error estándar de estimación de $S_{xy}\% = 3,87\%$, la ecuación resultante es $V = \text{Antilog } (-0,54483 + 0,01625 D)$ y es el que presentó el mejor ajuste para estimar la volumetría de las especies forestales del grupo II (cumala y marupa).

XI. CONCLUSIONES

1. La especie *Anaueria brasiliensis* "añuje rumo" reporta el mayor volumen con 309,76 m³ que representa el 61,88% del volumen total, seguido de la especie *Hymenaea palustris* "azúcar huayo" con 103,62 m³ (20,70%), *Dipteryx odorata* "charapilla" con 52,16 m³ (10,42%) y finalmente *Cedrelinga cateniformis* "tornillo" con 35,01m³ (6,99%).
2. En el método uno el modelo $V=b_1 D^2 L$ fue el más eficiente para estimar el volumen cuya ecuación es $y = 0,00005408 \cdot D^2 \cdot \text{largo de la troza}$; en el método dos reporta el modelo $V=b_1 D^2 L$ ($y = 0,00005743 \cdot D^2 \cdot \text{largo de la troza}$); en el método tres es el modelo $V = b_0 \cdot t^{b_1}$; que se traduce en volumen total del árbol= $0,001 \cdot \text{DAP}^{2,020}$; mientras que el método cuatro está representada por el modelo $V=b_1 D^2 L$ ($y = 0,00007937 \cdot D^2 \cdot \text{largo de la troza}$).
3. El volumen de las especies forestales de un bosque húmedo tropical de la comunidad nativa Santa Mercedes tiene una tendencia diferente a la lineal, cuya ecuación $V=b_1 D^2 H$ puede ser usado para estimar el volumen de maderas en trozas conociendo el diámetro mayor de la troza y su largo.
4. Existe diferencia estadística significativa del factor de forma entre métodos de cálculo ($F_c=28,257$; GI intergrupos=3; GI intragrupo (error)=324; P -valor=0,000).

XII. RECOMENDACIONES

1. Usar el factor de forma de 0,72 o 0,76; para estimar el volumen de madera comercial para las especies añuje rumo, azúcar huayo, charapilla y tornillo, para árboles con fines de biomasa o carbón calcular el factor 0.80, por corresponder al área de estudio.
2. Utilizar el modelo $V=b_1 D^2 H$ para todas las especies y la ecuación $V= 0,000058292 D^2 H$ (todas); $V= 0,00006234 D^2 H$ (Añuje rumo); $V= 0,00006412 D^2 H$ (Azúcar huayo), porque son los modelos que mejor se relacionan con el volumen de madera en función del DAP y altura total en el área de estudio.
3. Realizar estudios similares en otras zonas con la finalidad de verificar y estandarizar las ecuaciones matemáticas que se ajustaron en el presente estudio.

XIII. BIBLIOGRAFIA

- Bonilla, J. 1969. Comparaciones de ecuaciones para la construcción de volúmenes estándar de pino marítimo. Ed. Montevideo Rosal, S A. 29 p.
- Bruce, D. y I. Schmacher. 1965. Medición forestal. Traducción del inglés por Ramón Pelazón y José Meza Nieto. Centro regional de ayuda. Técnica A.I.D. México. 474 p.
- Delgado, L. y F. Acevedo. 2005. Relaciones alométricas y patrones de crecimiento para especies de árboles de la reserva forestal Imataca, Venezuela. Caracas. Vol. 30
- Di Rienzo, J. A. M. G. Balzarini.; F. Casanoves.; L. A. Tablada.; E. M. Diaz. y C. W. Robledo. 2001. Estadística para las ciencias agropecuarias. 4ta. Edición. Cordova Argentina. 322 p.
- Escobar, J. 2009. Apuntes de dasometría. Perú
- Escobar, J. N. 2007. Compendio automatizado de tablas de volúmenes para arboles de México. Tesis. México. 32 p.
- Espíritu, J. J. 2007. Modelos alométricos para estimar la biomasa aérea individual arbórea en un bosque secundario en la región de Manaos (AM)-Brasil. 20-34 p.
- Gallejos, R. y F. González. 2008. Tabla de volumen para *Piranhea mexicana* (Standl.) Radcl.-Sm. En la costa de Jalisco, México. 1-7 p.
- Gayon, J. 2000. History of the concept of allometry. Am. Zool. 40: 748-758.
- Henry, P. P. y Col. 2003. Modelos matemáticos para estimar el volumen de madera en bolo de las especies *Calophyllum antillanum* Britton. (ocuje) y *Bucida palustris* Borhidi (júcaro de ciénaga). (Trabajo aprobado para publicar consejo científico. 3-6 p.
- Glade, J., E. Field. 1988. Ecuaciones de volumen para *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en el noreste de Entre Ríos. Congreso Forestal Argentino Santiago del Estero (Argentina). 416-420 p.

- INADE/PEDICP. 2009. Investigación en la modalidad de tesis en el área de manejo de bosques de la comunidad indígena de Santa Mercedes, Río Putumayo, Perú. 27-28 p.
- Lindorf, H., L. de Parisca y P. Rodríguez. 1991. Botánica, clasificación, estructura y reproducción. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Loja, W. 2010. Potencial maderable de un bosque de colina baja del censo forestal de la comunidad nativa San Antonio, río Pintuyacu-Alto Nanay, Loreto, Perú. Borrador de tesis para obtener el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad de Ciencias Forestales. Iquitos, Perú. 54 p.
- Lojan, L. 1954. Aspectos del crecimiento diamétrico quincenal de algunos árboles tropicales. Turrialba. 231-237 p.
- López, A. J. L., J. I. Valdez, H., T. Terrazas y J. R. Valdez, L. 2006. Crecimiento en diámetro de especies arbóreas en una selva mediana subcaducifolia en Colima, México. *Agrociencia* 40 (1):139-147.31Madera
- Malleux, J. y E. Monterico. 1971. Manual de dasometría departamento de manejo forestal UNA, La Molina, Proyecto FAO-UNAP N° (16) Lima. 216 p.
- Malleux, J. 1982. Inventario forestal en bosques tropicales. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. 414 p.
- Martin J. G.; B. D. Kloeppel.; T. L. Schaefer.; D. L. Kimbler y S. G. McNulty. 1998. Aboveground biomass and nitrogen allocation of ten deciduous southern Appalachian tree species. *Can. J. Forest Res.* 28: 1648-1659.
- Mezzano S. 1998. Comportamiento del aprovechamiento y calidad de madera aserrada de *Pinus radiata*. D. Don a partir de variables de las trozas. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 57 p.
- Moscovich, A.; H. Keller.; R. Martiarena.; R. Fernandez y A. Borhen. 2003. Determinación del tamaño óptimo de parcelas para estudios de

composición florística de selva y forestaciones de coníferas de la provincia de Misiones, Argentina. Décimas jornadas técnicas forestales y ambientales. Facultad de Ciencias Forestales. 9 p.

Moret A. Y. 1998. Determinación de Ecuaciones de Volumen para Mureillo (*Erismaucinatum*) en la unidad C4 de la reserva forestal Imataca, Bolívar-Venezuela. 197 p.

Ojeda, W. 2001. Factor de Forma Preliminar para seis Familias de Especies Forestales Tropicales. Revista Forestal del Perú, V 11(1-2)-CEDINFOR 1. 6 p.

Orozco, L. y C. Brumer. 2002. Medición y cálculo de bosque. Inventario forestal para bosques latifoliados en América Central. Serie técnica (CATIE) N° 50 Turrialba (Costa Rica), 35-68 p.

Pacheco, W. 1999. Elaboración de Tablas de Volumetricas Locales para Madera Rolliza en la Cuenca del Río Putumayo, UNAP. 75 p.

Pacheco, M. 2011. Tabla de Volumen para *Quercus laurina* en la Comunidad de Ixtlan de Juarez, Oaxaca, UNSIJ. 73 p.

Perez, D. 2001. Inventario forestal con fines de valorización en la carretera nautalquitos. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad de Ingeniería Forestal. Artículo Científico. 21 p.

Prodan, M. 1968. Forest biometrics. Pergamon. 447 pág.

Regalado, M. A., R. E. Peralta. y R. C. A. González. 2005. Como hacer un modelo matemático. 18 p.

Rojas, S. A. 1978. Dasometría práctica. Universidad de Tolima-ibaque-Colombia. 163 p.

Salas, C. 2002. Ajuste y validación de ecuaciones de volumen para un relicto del bosque de roble-laurel-linque. Chile. 81-92 p.

Torrealva, D. 1980. Construcción de tablas de volúmenes locales. Turrialba – Costa Rica. 13 p.

- Torres, S. F. C. 2010. Potencial volumétrico de especies de importancia económica en la parcela de corta anual N° 2 del bosque de producción del Mayoruna con fines de extracción, Loreto-Perú. Borrados de tesis de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad de Ciencias Forestales. 103
- Torriente H., García P. P., Delgado, J. M., Fosado T. O. A., Domínguez A. 2009. Obtención de Modelos Matemáticos para la Elaboración de Tablas de Volumen de Madera en Bolo para cuatro Especie de Latifolias de la Ciénaga de Zapata. Vol. 5, Núm. 2009. México. 297-306 p.
- Tossi, J. A. 1957. Construcción de tablas de volúmenes en pies. Turrialba – Costa Rica, 10 p.
- Tovar, A. 2000. Diccionario ecológico, forestal, ambiental, recursos naturales y conservación. CONCYTEC. Lima-Perú. 320 p.
- Wabo, E. 1999. Desarrollo y uso de Ecuaciones de Volumen y Tablas de Volumen en la República Argentina. Inventarios forestales. Consultor forestal. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 29 p.
- Walter, P. M. 1999. Elaboración de tablas volumétricas locales para madera rolliza en la cuenca del rio putumayo. 29-33 p.
- (<http://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080613073810AA1UUSg>)
- (<http://www.definicionabc.com/general/ecuacion.php>)
- (http://es.answers.yahoo.com/question_x?qid=20080613073810AA1UUSg)
- <http://definicion.de/modelo-matematico/>

ANEXOS

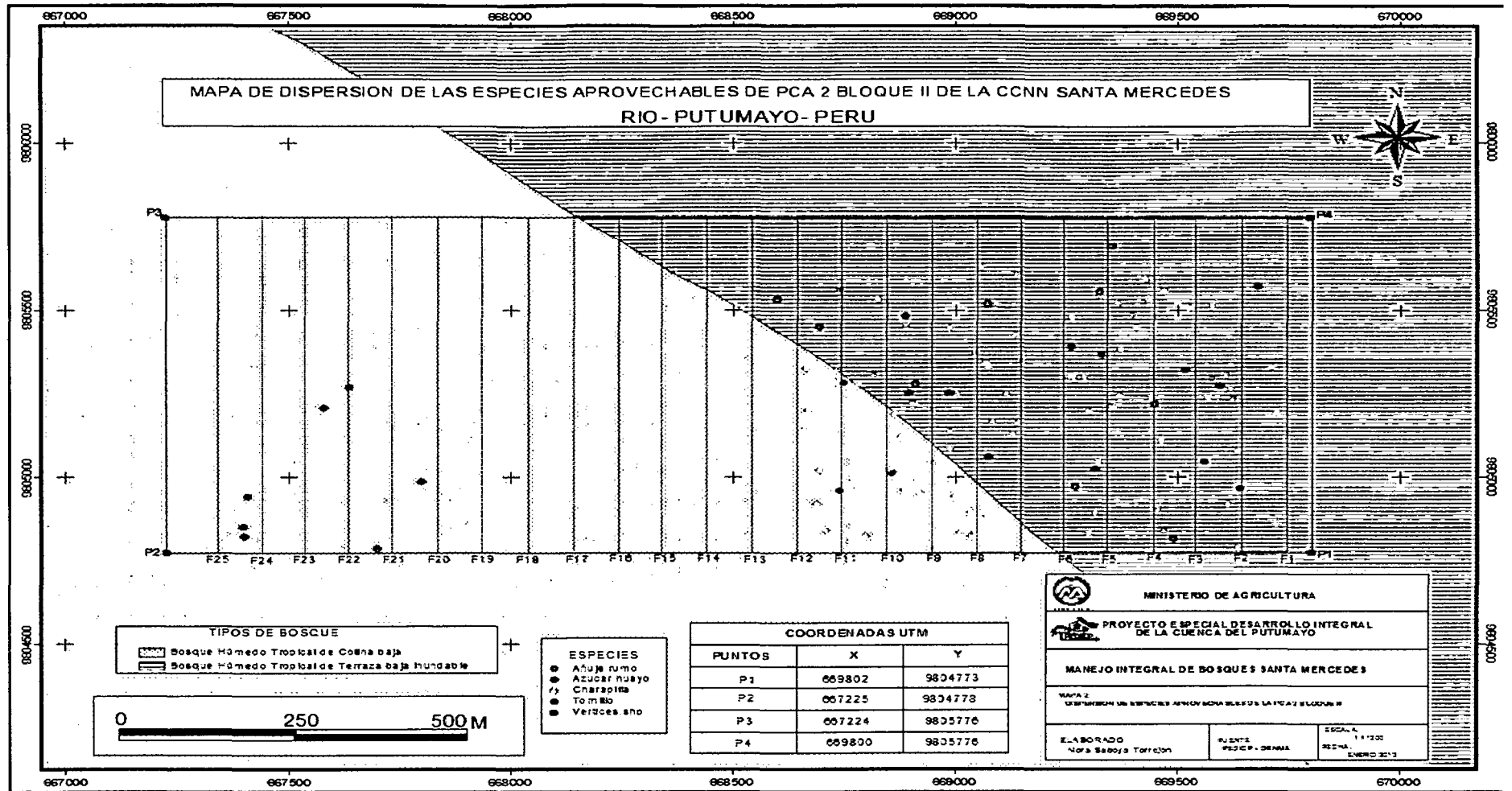


Figura 06. Mapa de dispersión de las especies aprovechadas de la PCA 2-B II de la CC.NN Santa Mercedes

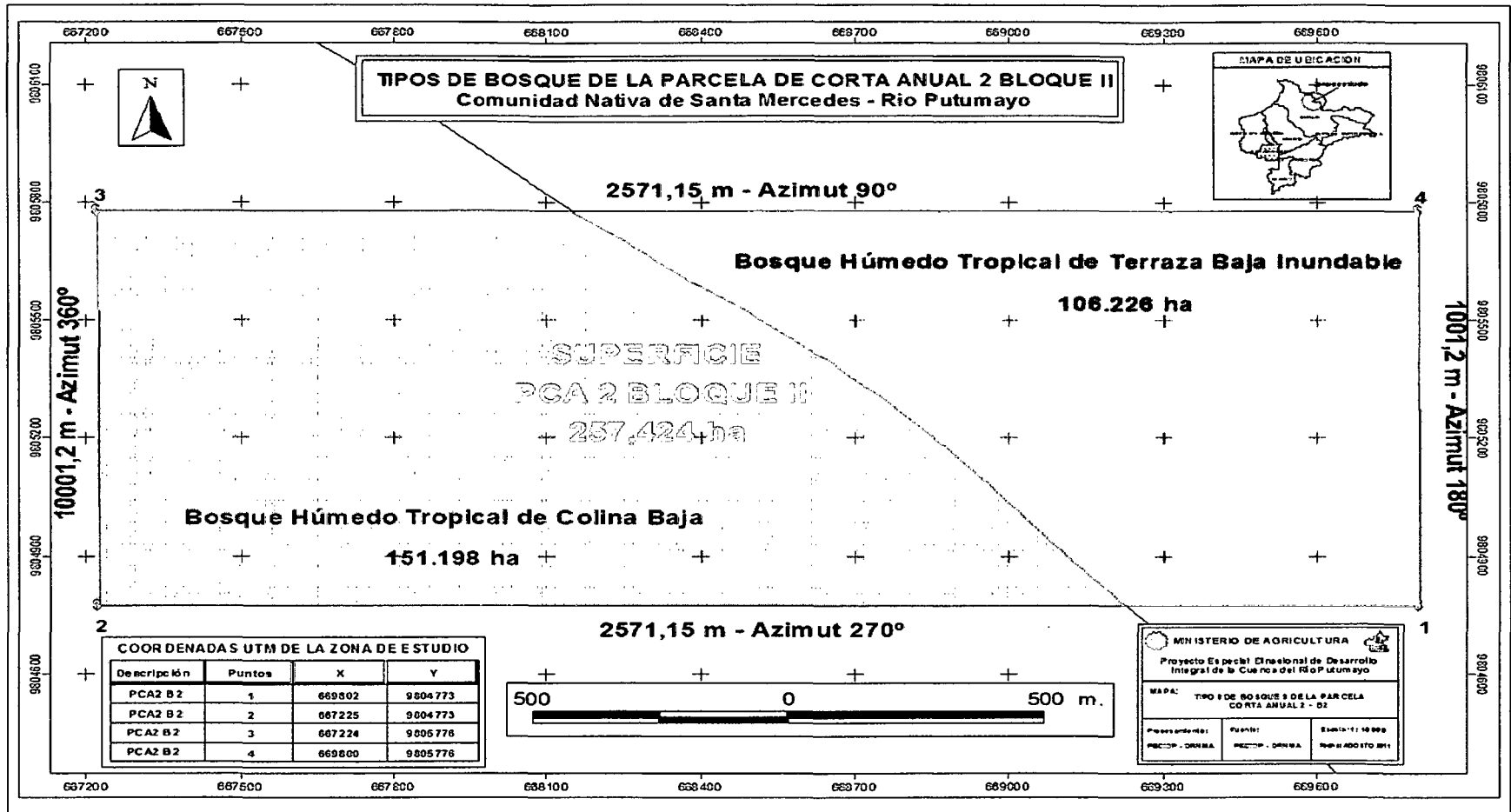


Figura 07. Mapa de tipos de bosque de la PCA2-B II de la CC.NN Santa Mercedes



Figura 08. Medición de los arboles después del talado

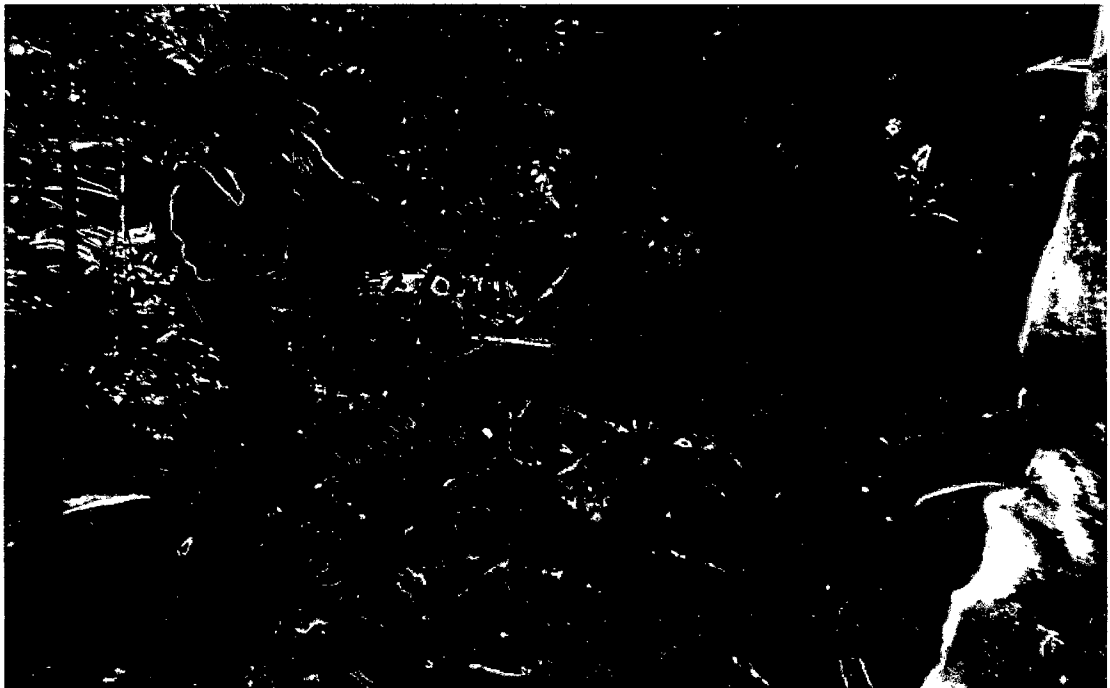


Figura 09. Talado de los arboles que fueron aprovechados



Figura 10. Mediciones de los arboles cada 2 metros



Figura 11. Troceo de los arboles aprovechables

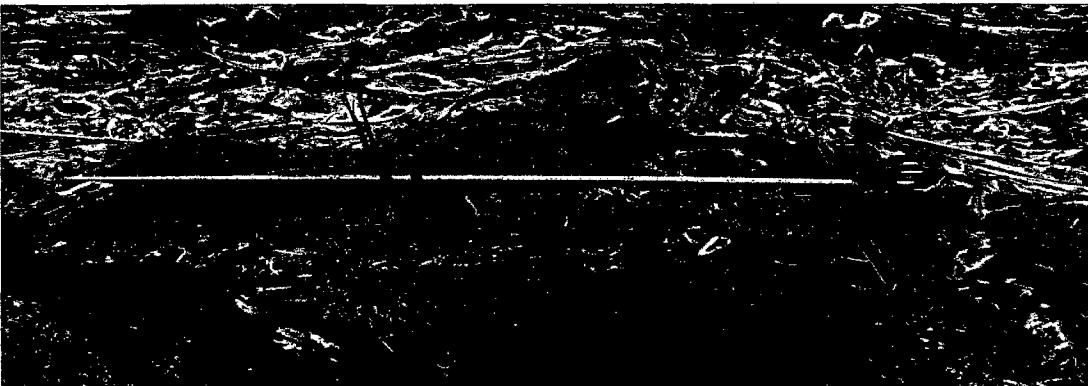


Figura 12. Medición de los diámetros de los tocones

Cuadro 30. Base de datos de las especies forestales Aprovechas de la PCA2-BII

N°	N° Árbol	N° Faja	Especie	Cdap	DM(cm)	Dm(cm)	HC (m)	HT (m)	N° Trozas	Vol.(m³)	Vol. cada 2m (m³)	Vol. Tocón y ramas (m³)
1	139	1	Azúcar huayo	60	63	48	16.3	20	3	3.9433	3.3954	
2	184	1	Añuje rumo	70	70	56	15.4	20	2	4.8006	3.8636	
3	191	1	Añuje rumo	50	59	35	16.4	25	3	2.8453	2.9062	
4	217	1	Añuje rumo	50	51	39	12.3	15	2	1.9562	1.7138	
5	219	2	Añuje rumo	70	70	56	8.5	20	2	2.6497	2.1311	
6	227	2	Añuje rumo	70	74	55	16.4	20	3	5.3586	4.5051	2.4116
7	228	2	Tornillo	80	89	61	11	25	3	4.8597	3.3748	
8	229	2	Tornillo	70	74	54	12.9	30	5	4.1499	2.6352	
9	232	2	Añuje rumo	60	62	43	12.5	20	2	2.7059	2.3572	
10	236	2	Charapilla	60	62	46	15	25	4	3.4353	3.3093	
11	238	2	Añuje rumo	50	52	38	8.23	20	2	1.3089	1.1402	
12	239	2	Azúcar huayo	70	70	52	7.83	20	3	2.2883	1.7602	
13	240	2	Añuje rumo	40	49	38	8.11	20	2	1.2053	1.0707	
14	241	2	Añuje rumo	70	79	56	12.8	25	2	4.5805	3.0411	
15	243	2	Añuje rumo	70	71	52	16.6	20	3	4.9312	4.5384	
16	258	2	Añuje rumo	90	96	72	16.3	23	3	9.0331	7.2011	
17	294	3	Añuje rumo	70	73	63	12.2	20	2	4.4307	3.5072	
18	299	3	Añuje rumo	80	89	55	16.5	25	4	6.7180	4.6653	
19	309	3	Azúcar huayo	60	61	46	12.8	25	3	2.8775	2.3162	
20	316	3	Añuje rumo	50	55	41	8	20	3	1.4476	1.3586	
21	326	3	Añuje rumo	80	82	47	20.5	30	5	6.6983	5.9220	
22	330	3	Añuje rumo	70	79	56	16.4	25	3	5.8687	7.5628	2.7729
23	331	3	Azúcar huayo	70	70	52	14.4	20	2	4.2084	2.8196	2.8196
24	352	4	Azúcar huayo	60	61	50	12.3	20	3	2.9757	2.0396	2.0396
25	353	4	Añuje rumo	90	91	80	8.3	20	3	4.7654	3.2400	
26	354	4	Charapilla	70	70	58	12.3	23	2	3.9569	0	
27	361	4	Añuje rumo	60	60	52	7.28	25	2	1.7931	1.6365	

28	366	4	Añuje rumo	80	82	63	19.5	30	5	8.0501	7.6121	
29	368	4	Añuje rumo	50	55	47	11.3	20	3	2.3084	2.1309	
30	369	4	Añuje rumo	50	51	51	7.2	20	3	1.4708	1.1707	
31	373	4	Añuje rumo	60	61	43	12.18	20	3	2.5867	2.3915	
32	374	4	Añuje rumo	70	70	65	16.4	20	3	5.8687	0	
33	383	4	Añuje rumo	60	61	58	20.5	25	3	5.7001	0	
34	387	4	Azúcar huayo	60	60	56	15	22	3	3.9631	0	
35	399	5	Azúcar huayo	50	58	44	12.15	25	3	2.4820	2.1986	
36	400	5	Añuje rumo	100	100	74	12.37	20	3	7.3536	7.9571	
37	406	5	Añuje rumo	60	63	45	16.4	30	5	3.7560	3.4225	
38	407	5	Azúcar huayo	60	65	43	12.35	25	3	2.8284	2.3767	
39	409	5	Añuje rumo	60	69	49	15.29	25	4	4.1803	4.3232	
40	413	5	Añuje rumo	60	60	46	15.5	25	3	3.4196	3.0455	
41	416	5	Azúcar huayo	50	59	43	12.3	20	3	2.5127	4.3951	4.3951
42	417	5	Azúcar huayo	60	60	49	15.4	25	4	3.5926	3.0455	3.0455
43	420	5	Añuje rumo	70	75	57	16.4	20	3	5.6108	5.8699	1.5694
44	425	5	Añuje rumo	80	80	60	10.5	30	4	4.0409	6.3273	2.2556
45	443	6	Añuje rumo	50	58	45	12.3	20	3	2.5622	0	
46	446	6	Añuje rumo	70	70	56	16.4	30	6	5.1123	2.8453	
47	451	6	Azúcar huayo	50	50	46	4.1	25	3	0.7419	0	
48	453	6	Charapilla	80	84	65	12.3	25	3	5.3618	0	
49	483	7	Añuje rumo	60	65	48	16.40	20	2	4.1118	0	
50	487	7	Añuje rumo	70	71	51	16.40	22	3	3.6181	0	
51	491	7	Añuje rumo	90	93	55	16.40	25	3	7.0534	5.7116	
52	493	7	Azúcar huayo	50	53	40	15	25	3	2.5473	0	
53	496	7	Añuje rumo	40	45	32	12.30	15	2	1.4319	1.0393	
54	500	7	Añuje rumo	70	71	60	15.40	30	3	5.1891	3.8964	
55	502	7	Añuje rumo	60	60	35	12.30	20	3	2.1796	1.5094	
56	503	7	Añuje rumo	60	69	52	16.40	25	3	4.7146	5.0189	2.2019
57	513	7	Añuje rumo	70	74	57	20.50	25	5	6.9076	4.6657	
58	514	7	Charapilla	60	61	58	12.30	19	2	3.4200	0	

59	518	7	Añuje rumo	40	46	38	12.30	18	3	1.7041	1.6773	
60	519	7	Añuje rumo	50	56	40	12.30	15	2	2.2258	1.6625	
61	522	7	Azúcar huayo	60	62	49	16.40	30	4	3.9675	0	
62	524	7	Charapilla	70	71	48	20.50	30	4	5.7001	2.6582	2.6582
63	527	7	Añuje rumo	50	59	43	12.30	25	3	2.5127	3.1952	0.9875
64	532	8	Añuje rumo	50	59	42	15.8	20	3	3.1647	6.5077	2.3286
65	535	8	Añuje rumo	40	46	32	16.17	18	2	1.9317	1.8339	
66	538	8	Añuje rumo	70	74	54	19.26	20	3	6.1959	10.3533	3.2554
67	539	8	Añuje rumo	80	88	54	17.36	22	3	6.8732	9.0682	2.3459
68	540	8	Añuje rumo	90	93	59	16.41	20	3	7.4443	10.4080	4.3604
69	541	8	Añuje rumo	50	51	38	12.3	20	2	1.9130	3.0892	1.4827
70	542	8	Añuje rumo	70	77	55	16.4	25	3	5.6108	0	
71	543	8	Añuje rumo	90	96	67	16.18	30	4	8.4408	8.8973	2.5812
72	548	8	Añuje rumo	60	65	50	16.4	25	3	4.2586	0	
73	551	8	Azúcar huayo	70	70	70	20	30	5	7.6969	2.1752	2.1752
74	555	8	Añuje rumo	60	60	35	11.30	18	2	2.0024	3.5118	1.7256
75	561	8	Añuje rumo	70	77	55	12.30	20	3	4.2081	2.6474	
76	562	8	Añuje rumo	50	56	31	15.40	15	2	2.2887	0	
77	607	9	Tornillo	90	94	69	20.5	30	4	10.6945	13.2357	3.1922
78	611	9	Añuje rumo	40	48	32	12.3	20	3	1.5457	0	
79	621	9	Azúcar huayo	50	56	35	18	25	3	2.9268	0	
80	624	9	Charapilla	60	60	40	13	20	3	2.5526	3.0530	3.0530
81	627	9	Añuje rumo	50	54	34	12.3	18	3	1.8703	0	
82	629	9	Azúcar huayo	60	68	53	16	25	5	4.5996	3.8694	3.8694
83	635	9	Añuje rumo	80	80	48	16.4	20	3	5.2759	3.1962	3.1962
84	638	9	Añuje rumo	70	78	54	16.4	30	4	5.6108	1.7278	1.7278
85	648	9	Azúcar huayo	70	70	60	14	25	3	4.6456	3.0430	3.0430
86	653	9	Añuje rumo	90	94	70	16.4	30	3	8.6609	8.5411	8.5411
87	654	9	Añuje rumo	50	59	35	12	18	3	2.0819	1.9512	
88	662	10	Añuje rumo	60	67	52	20.5	30	3	5.7001	2.6035	2.6035
89	665	10	Añuje rumo	40	47	37	20.5	20	3	2.8402	0.6994	0.6994

90	679	10	Charapilla	60	61	39	19	20	3	3.7307	2.6683	2.6683
91	695	10	Añuje rumo	50	53	39	12.3	18	3	2.0441	1.1468	1.1468
92	702	10	Añuje rumo	70	70	49	12	20	4	3.3366	3.5647	
93	720	10	Añuje rumo	40	49	33	12.2	18	3	1.6107	1.4574	
94	741	11	Añuje rumo	50	53	42	12.3	15	3	2.1796	0	
95	753	11	Azúcar huayo	60	69	55	20	30	5	6.0382	0	
96	755	11	Añuje rumo	130	132	78	16.4	30	3	14.2008	0	
97	756	11	Añuje rumo	50	56	45	12.30	20	3	2.4636	0	
98	759	11	Añuje rumo	50	52	38	16.40	20	3	2.6083	0.7678	0.7678
99	760	11	Tornillo	70	79	51	20.50	30	4	6.8025	2.5711	2.57108
100	762	11	Añuje rumo	80	85	49	20.50	30	5	7.2276	2.2218	2.2218
101	778	11	Añuje rumo	50	52	35	12.30	20	3	1.8280	0	
102	781	11	Tornillo	60	65	41	16.40	20	3	3.6181	0.8666	0.8666
103	786	11	Añuje rumo	60	60	42	16.40	20	4	3.3502	1.5457	1.5457
104	791	11	Añuje rumo	100	100	62	20.50	30	4	10.5637	3.6367	3.6367
105	829	12	Azúcar huayo	70	72	64	20	30	4	7.2634	2.5488	2.5488
106	919	14	Charapilla	80	82	66	15	20	3	6.4513	7.0511	7.0511
107	1233	19	Charapilla	70	72	56	17.00	25	3	5.4689	0	
108	1245	19	Charapilla	60	67	47	15.00	25	3	3.8276	0	
109	1270	20	Azúcar huayo	60	68	53	25.00	30	5	7.1869	0	
110	1359	21	Azúcar huayo	60	66	47	18.00	25	4	4.5129	0	
111	1378	22	Charapilla	80	82	63	20.00	30	4	8.2565	0	
112	1387	22	Azúcar huayo	60	64	48	18.00	30	4	4.4334	0	
113	1398	22	Azúcar huayo	50	59	45	15.00	30	4	3.1856	0	
114	1466	24	Azúcar huayo	50	57	39	16.00	20	3	2.8953	0	
115	1471	24	Azúcar huayo	50	59	39	16.00	18	3	3.0172	0	
116	1475	24	Azúcar huayo	60	69	48	18.00	20	4	4.8381	0	

➤ Orden de como se obtiene el resultado del volumen promedio del cuadro 4.

Cuadro 4. Volumen del promedio de las especies forestales aprovechadas en el bosque húmedo tropical del área de estudio según el largo de la troza y clase diamétrica

Paso 1:

Cdap	0	4	8	12	16	20	24	Total general
40				5	1	1		7
50		2	1	18	5	1		27
60			2	10	16	4	1	33
70			1	9	12	6		28
80				3	4	4		11
90	1			1	4	1		7
100						1	1	2
130					1			1
Total general	1	2	4	46	43	18	2	116

Paso 2:

cdap	0	4	8	12	16	20	24	Total general	N° Indiv.	Total Vol. Prom.
40	0	0	0	8.1336	1.9591	2.8402	0	12.933	7	1.85
50	0	2.2128	1.3042	42.3079	14.2929	4.1061	0	64.224	27	2.38
60	0	0	4.3614	31.9982	65.5792	21.8760	7.1869	131.002	33	3.97
70	0	0	2.5561	38.4903	61.9273	40.1832	0	143.157	28	5.30
80	0	0	0	16.5467	34.4892	41.4927	0	92.529	11	7.12
90	1.1341	0	0	7.6362	33.3584	10.6945	0	52.823	7	7.55
100	0	0	0	7.3120	0	10.5637	13.6328	31.508	2	10.50
130	0	0	0	0	14.2008	0	0	14.201	1	14.20
Total	1.1341	2.2128	8.2217	152.4248	225.807	131.756	20.8197	500.55	116	4.31

Paso 3:

cdap	0	4	8	12	16	20	24	N° Indiv.	Total	Total Promedio
40				1.63	1.96	2.84		7	12.93	1.85
50		1.11	1.30	2.35	2.86	4.11		27	64.22	2.38
60			2.18	3.20	4.10	5.47	7.19	33	131.00	3.97
70			2.56	4.28	5.63	6.70		28	143.16	5.30
80				5.52	6.90	8.30		11	92.53	7.12
90	1.13			7.64	8.34	10.69		7	52.82	7.55
100				7.31		10.56	13.63	2	31.51	10.50
130					14.20			1	14.20	14.20
Total general	1.13	1.11	2.06	3.24	5.25	6.93	10.41	116	500.55	4.31