

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**“ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA AÉREA DE LA ESPECIE
«UNCA » *MYRCIANTHES OREOPHILA* EN EL BOSQUE
YANAUNCA EN EL DISTRITO DE LOS CHANKAS,
CHINCHEROS, APURÍMAC”**

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL

MARIA PIA SEMBRERO HUARANGA

LIMA – PERÚ

2021

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

**“ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA AÉREA DE LA ESPECIE «UNCA»
MYRCIANTHES OREOPHILA EN EL BOSQUE YANAUNCA EN EL DISTRITO DE
LOS CHANKAS, CHINCHEROS, APURÍMAC”**

Presentada por:

MARIA PIA SEMBRERO HUARANGA

Tesis para optar el Título profesional de:

INGENIERO FORESTAL

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

.....
Ing. Carlos Rafael Vargas Salas

PRESIDENTE

.....
Ing. Juan Carlos Ocaña Canales

MIEMBRO

.....
Ing. Roxana Guillén Quispe, Mg. Sc.

MIEMBRO

.....
Ing. Víctor Barrena Arroyo, M. Sc.

ASESOR

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A Isabel, mi madre, quien desde el cielo guía cada paso de mi vida.

A Bartolomé, mi padre; a mis hermanas Giovanna y

María Isabel, por su amor y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar un agradecimiento especial al profesor M. Sc. Víctor Barrena Arroyo, por su asesoramiento, acompañamiento y sobre todo paciencia desde el inicio del presente trabajo.

Al laboratorio de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), donde realicé las evaluaciones; al Profesor Moisés Acevedo por su asesoría y al Sr. Vicente Cuba, por su apoyo en laboratorio.

Al laboratorio de Teledetección Aplicada y de Sistemas de Información Geográfica, por el brindarme facilidades para el préstamo de equipos para la evaluación en campo.

Al profesor Dr. Enrique Gonzáles Mora y al Ing. Ernesto Molina por haberme confiado el desarrollo de la presente tesis y haber sido quienes iniciaron el contacto y organización para su posterior desarrollo.

Al Blgo. Luis Vargas, a la ONG PUMAMAYO y Consultora Klee, por el financiamiento otorgado para la presente tesis; a la Municipalidad Distrital de Huaccana- Chincheros y su alcalde Sr. Hugo Najarro, por el apoyo logístico.

Al Sr. Raúl Torres, presidente de la Comunidad de San Ramón de Yanavilca en Chincheros, por su apoyo y amistad durante toda la fase de campo.

A mi compañera de tesis y amiga, Erika Pinto, por su apoyo y cada anécdota durante este proceso, nunca dudes de ti; a Sandy, Nataly y Susan por su cariño y amistad siempre; a Dalmira Beltrán, por todo el apoyo, consejos y enseñanzas

A todos mis amigos, porque cada día aprendo algo de cada uno de ustedes, gracias por su apoyo y ánimos, los llevo siempre en el corazón.

Y por último, a mi segunda familia de la Oficina del Voluntariado y el Grupo de Alumnos Voluntarios, por enseñarme la importancia del trabajo en equipo y de que cada uno de nosotros puede aportar mucho para el desarrollo sostenible de las comunidades rurales.

ÍNDICE GENERAL

Página

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Descripción general de la especie	3
2.1.1. Taxonomía	3
2.1.2. Nomenclatura	3
2.1.3. Características de la familia myrtaceae	3
2.1.4. Antecedentes del género <i>myrcianthes</i>	4
2.1.5. Distribución y hábitat.....	4
2.1.6. Descripción botánica.....	5
2.1.7. Situación de la especie	7
2.1.8. Fenología	7
2.1.9. Propagación de la especie.....	7
2.1.10. Tipos de suelo.....	8
2.1.11. Ecología	8
2.1.12. Usos de la especie	8
2.2. Ecosistemas forestales andinos: bosques andinos.....	10
2.3. El papel de las áreas boscosas	14
2.4. Los bosques como captadores de carbono en biomasa forestal	16
2.5. Biomasa forestal	17
2.6. Estimación de biomasa.....	18
2.6.1. Los métodos directos o destructivos.....	19
2.6.2. Los métodos indirectos	19
2.7. Densidad básica	21
2.8. Volumen	22
2.8.1. Estimación de volumen	22
2.9. Estudios de estimación de biomasa y volumen en bosques andinos	23
2.10. Ecuaciones para la estimación de biomasa y volumen.....	25
2.10.1. Análisis de regresión lineal	25
2.10.2. Modelos de regresión.....	27

2.10.3. Análisis de criterios estadísticos	28
2.10.4. Análisis de los residuos	30
2.10.5. Análisis de regresión ponderada	31
2.10.6. Selección de la mejor ecuación.....	32
III. MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1. Ubicación de la zona de estudio	34
3.2. Accesibilidad.....	35
3.3. Descripción de la zona de estudio	36
3.3.1. Clima.....	36
3.3.2. Ecología	37
3.3.3. Flora y fauna.....	38
3.3.4. Clasificación de suelos	39
3.4. Materiales y equipos.....	40
3.4.1. Materiales	40
3.4.2. Equipos	40
3.4.3. Instrumentos	41
3.4.4. Programas utilizados.....	41
3.5. Metodología.....	41
3.5.1. Reconocimiento de la zona.....	41
3.5.2. Coordinaciones locales	42
3.5.3. Selección de individuos	42
3.5.4. Trabajo en campo.....	44
3.5.5. En laboratorio y gabinete.....	48
IV. RESULTADOS.....	63
4.1. Reconocimiento de la zona	63
4.2. Coordinaciones locales	63
4.3. Selección de individuos	64
4.4. Trabajo en campo	64
4.4.1. Marcado de árboles	64
4.4.2. Medición de parámetros	65
4.4.3. Tumbado y trozado de árboles.....	68
4.4.4. Pesado de fuste	69
4.4.5. Clasificación y pesado de ramas	70
4.4.6. Pesado de hojarasca	71

4.4.7. Obtención de rodajas de fuste	72
4.4.8. Obtención de muestras de ramas.....	73
4.4.9. Obtención de muestras de hojarasca.....	73
4.4.10. Almacenamiento y traslado.....	75
4.5. En laboratorio y gabinete	75
4.5.1. Obtención de probetas	75
4.5.2. Saturación de probetas y determinación de volumen	75
4.5.3. Secado y determinación del contenido de humedad de las probetas.....	76
4.5.4. Determinación del contenido de humedad de las muestras de hojarasca	78
4.5.5. Determinación de densidad básica.....	79
4.5.6. Determinación del contenido de humedad de los componentes del árbol (fuste, ramas y hojarasca).....	82
4.5.7. Determinación del peso seco o biomasa seca total de cada componente	84
4.5.8. Determinación del volumen de cada individuo	86
4.6. Análisis de variables.....	91
4.7. Elaboración de la ecuación de biomasa y volumen	97
4.7.1. Selección de modelos	97
4.8. Análisis de regresión	97
4.8.1. Análisis de regresión de biomasa.....	98
4.8.2. Análisis de regresión del volumen.....	113
4.9. Análisis de regresión ponderada.....	125
4.9.1. Análisis de regresión ponderada de la biomasa	125
4.9.2. Análisis de regresión ponderada del volumen	128
4.10. Selección de la mejor ecuación	130
4.10.1. Ecuaciones de biomasa.....	130
4.10.2. Ecuaciones de volumen.....	132
4.10.3. Comparación de biomasa y volumen estimados y calculados.....	133
V. CONCLUSIONES.....	138
VI. RECOMENDACIONES	139
VII. BIBLIOGRAFIA.....	140
VIII. ANEXOS.....	159

Índice de tablas

	Página
Tabla 1: Principales ecosistemas clasificados según fitogeografía en los Andes Septentrionales y Centrales.....	11
Tabla 2: Número estimado de especies de flora y fauna de los Andes tropicales.....	12
Tabla 3: Grupos estructurales de madera, según densidad.	21
Tabla 4: Modelos de ecuaciones de volumen más utilizados.	27
Tabla 5: Límites del Distrito de los Chankas.....	34
Tabla 6: Características fisiográficas del distrito de Los Chankas.....	39
Tabla 7: Distribución de tierras según su uso.	40
Tabla 8: Modelos de ecuaciones originales para estimación de biomasa y volumen.....	53
Tabla 9: Factores de ponderación utilizados según cada variable incluida en las ecuaciones de biomasa y volumen.....	60
Tabla 10: DAP, altura de fuste, altura total y diámetro de copa de los 33 individuos evaluados.....	65
Tabla 11: Estadística descriptiva del DAP, altura de fuste (Hf), altura total (Ht) y diámetro de copa (DC).....	66
Tabla 12: Estructura de la distribución diamétrica de los 33 árboles evaluados.....	67
Tabla 13: Datos de secciones del fuste de los 33 individuos evaluados.	68
Tabla 14: Pesos de las secciones del fuste tomados en campo.....	69
Tabla 15: Datos del peso de ramas de los 33 individuos evaluados.	71
Tabla 16: Datos del peso de hojarasca de los 33 individuos evaluados.....	72
Tabla 17: Peso fresco del fuste, ramas y hojarasca de cada individuo.	73
Tabla 18: Contenido de humedad (en porcentaje) de las muestras de fuste, ramas y hojarasca.	77
Tabla 19: Contenido de humedad de las muestras de hojarasca.....	79
Tabla 20: Densidad básica del fuste y ramas.	80
Tabla 21: Densidad básica promedio por componente.	81
Tabla 22: Contenido de humedad promedio del fuste, ramas y hojarasca.	83
Tabla 23: Promedio de biomasa seca por sección del fuste.....	84
Tabla 24: Biomasa seca total de fuste, ramas y hojarasca por individuo evaluado.	84
Tabla 25: Biomasa seca total promedio según clases diamétricas.	86

Tabla 26: Resumen de volumen según Smalian por cada componente del árbol	87
Tabla 27: Volumen promedio según clase diamétrica.	88
Tabla 28: Comparación entre volumen de fuste obtenido a través de Smalian y Volumen obtenido a través de la biomasa y densidad.....	89
Tabla 29: Cuadro resumen de variables independientes y dependientes.	96
Tabla 30: Individuos con datos atípicos.	97
Tabla 31: Estadísticos de la regresión de ecuación modelo. $B= b_0 + b_1Ht+b_2DAP$	98
Tabla 32: Análisis de varianza de la regresión de ecuación modelo.....	98
Tabla 33: Coeficientes de variables de la regresión de ecuación modelo.....	98
Tabla 34: Modelos de ecuaciones originales para la estimación de biomasa y su coeficiente de determinación R^2	100
Tabla 35: Las ecuaciones originales para la estimación de biomasa aceptadas según el estadístico F.	105
Tabla 36: Modelos de ecuaciones originales para la estimación de biomasa y los resultados de la Prueba t de Student.....	108
Tabla 37: Modelos de ecuaciones originales para la estimación de volumen y su coeficiente de determinación R^2	114
Tabla 38: Ecuaciones originales para la estimación de biomasa según el estadístico F.....	119
Tabla 39: Modelos de ecuaciones originales para la estimación de biomasa y los resultados de la Prueba t de Student.....	122
Tabla 40: Modelos de ecuaciones ponderadas aceptadas para estimación de biomasa	127
Tabla 41: Modelos de ecuaciones ponderadas para estimación de volumen	129
Tabla 42: Ecuaciones seleccionadas para la estimación de biomasa.	130
Tabla 43: Ecuaciones seleccionadas para la estimación de volumen.	132
Tabla 44: Comparación entre Biomasa estimada y biomasa calculada real.....	133
Tabla 45: Comparación entre Volumen estimado y volumen calculado real.....	136

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Mapa de distribución de la especie en el Perú.....	5
Figura 2: <i>Myrcianthes oreophila</i> . (A) Ramita con hojas e inflorescencia. (B) Flor, vista lateral. (C) Flor, sección longitudinal.	6
Figura 3: a) Fotos del fuste, b) Foto de la copa de la especie <i>Myrcianthes oreophila</i>	6
Figura 4: Fenología de la especie <i>Myrcianthes oreophila</i>	7
Figura 5: Usos de la especie <i>Myrcianthes oreophila</i>	10
Figura 6: Mapa de la Región Andina Tropical	11
Figura 7: Modelos de distribución de residuos vs valores estimados.. ..	31
Figura 8: Mapa del distrito de Los Chankas, provincia de Chincheros, departamento de Apurímac.....	35
Figura 9: Diagrama de temperatura y precipitación mensual del distrito de Huacanna	37
Figura 10: Cuadro resumen de Temperatura y precipitación anual en Huaccana.....	37
Figura 11: Mapa de ubicación de los 33 individuos de <i>Myrcianthes oreophila</i> en el bosque Yanaunca, provincia de Chincheros, departamento de Apurímac.....	43
Figura 12: Mediciones del diámetro de copa.....	45
Figura 13: Mediciones del diámetro en cada sección del fuste.	45
Figura 14. Modelo de codificación de cada muestra (rodaja).....	47
Figura 15. Ubicación de rodajas extraídas de cada sección del fuste.	47
Figura 16. Modelo del seccionado y codificación de las probetas.	49
Figura 17. Medición del DAP en la fase de campo.	65
Figura 18. Distribución diamétrica de los individuos seleccionados.	68
Figura 19. Pesado de ramas de la especie <i>Myrcianthes oreophila</i>	70
Figura 20. Secado de hojarasca en estufa del laboratorio de Tecnología de la Madera.	76
Figura 21. Pesado final de las probetas secas obtenidas de las rodajas.	76
Figura 22. Pesado final de las muestras de hojarasca seca.	77
Figura 23. Densidad básica promedio del fuste y ramas.....	81
Figura 24. Relación de densidad básica promedio con DAP.....	82
Figura 25. Contenido de humedad promedio del fuste, ramas y hojarasca.	83
Figura 26. Comparación entre volumen calculado con Smalian (Volumen real) y volumen calculado a través de la biomasa y densidad.	90
Figura 27. Relación entre altura de fuste y DAP.	91
Figura 28. Relación entre altura total y DAP.....	91
Figura 29. Relación entre diámetro de copa y DAP.....	92

Figura 30. Relación entre variable independiente (DAP) y variable dependiente (biomasa).	92
Figura 31. Relación entre variable independiente (altura de fuste) y variable dependiente (biomasa).....	93
Figura 32. Relación entre variable independiente (altura total) y variable dependiente (biomasa).....	93
Figura 33. Relación entre variable independiente (diámetro de copa) y variable dependiente (biomasa).....	93
Figura 34. Relación entre variable independiente (DAP) y variable dependiente (volumen).	94
Figura 35. Relación entre variable independiente (altura de fuste) y variable dependiente (volumen).	94
Figura 36. Relación entre variable independiente (altura total) y variable dependiente (volumen).	95
Figura 37. Relación entre variable independiente (diámetro de copa) y variable dependiente (volumen).	95
Figura 38. Análisis de residuos de la ecuación 1: $B = -50,3962 + 8,7664DAP$	111
Figura 39. Análisis de residuos de la ecuación 37: $B = 41,2740 + 0,0964DAPHt^2$	111
Figura 40. Análisis de residuos de la ecuación 85: $B = -31,9216 + 16,9756Dc + 0,8965DAP^{1,5}$	111
Figura 41. Análisis de residuos de la ecuación 93: $B = -172,0646 + 55,3253Lg_2$ (DAP)+2,8534Dc ²	112
Figura 42. Análisis de residuos de la ecuación 65: $B = -121,2004 + 31,3565DAP -$ $5,4343DAP^{1,5} + 0,0417DAP.Ht^2$	112
Figura 43. Análisis de residuos del modelo de ecuación 100: $B = -17,0413 +$ $0,7217DAPHt + 11,2988Dc$	112
Figura 44. Análisis de residuos de la ecuación 112: $B = -29,2392 + 12,3635Ht +$ $0,8299DAPxDc$	113
Figura 45. Análisis de residuos del modelo de ecuación 22: $V = -0,0760 + 0,0260Ht +$ $0,00006DAP^{2,5}$	124
Figura 46. Análisis de residuos de la ecuación 24: $V = -0,0620 + 0,0271Ht + 0,00001DAP^3$	124
Figura 47. Análisis de residuos del modelo de ecuación 31: $V = -0,0384 + 0,0020DAPHt$	125
Figura 48. Análisis de residuos de la ecuación 104: $V = -0,0432 + 0,0001DAPHt^3 + 0,0344Dc$	125
Figura 49. Análisis de residuos del modelo de ecuación 65: $B/DAP^3 = -121,2003 +$ $31,3565*DAP + -5,4343*DAP^{1,5} + 0,0417*DAP^2*xHt / DAP^3$	127

Figura 50. Análisis de residuos del modelo de ecuación 92: $B/ Dc^2 = -299,0602 + 45,9836 \cdot \log_2(Dc) + 76,3772 \cdot \log_2(DAP) / Dc^2$	127
Figura 51. Análisis de residuos del modelo de ecuación 101: $B/ Dc^{1.5} = 9,2089 + 13,1776 \cdot Dc + 0,0196 \cdot DAP^2 \cdot Ht / Dc^{1.5}$	128
Figura 52. Análisis de residuos del modelo de ecuación 103: $V / DAP^{0.2} \times Dc = -0,0444 + 0,0258 \cdot Dc + 0,0002 \cdot DAP \cdot Ht^2 / DAP^{0.2} \times Dc$	129
Figura 53. Análisis de residuos del modelo de ecuación 113: $V/ DAP^{0.5} \times Dc = -0,0413 + 0,0021 \cdot Ht^2 + 0,0019 \cdot DAP \times Dc / DAP^{0.5} \times Dc$	129
Figura 54. Comparación entre biomasa real y estimada mediante la ecuación seleccionada según marcas de clase del DAP	135
Figura 55. Comparación entre Volumen real calculado y Volumen estimado mediante la ecuación seleccionada.	137

Índice de anexos

	Página
Anexo 1: Acta generada por la comunidad para el permiso de evaluación y corta de individuos para su estudio.....	159
Anexo 2: Resolución de dirección general n° 225 – 2016 – SERFOR/DGGSPFFS de permiso para la extracción de los individuos de la especie <i>Myrcianthes oreophila</i>	161
Anexo 3: Datos de los parámetros evaluados en campo	164
Anexo 4: Constancia de depósito e identificación de especie en herbario autorizado	165
Anexo 5: Datos del volumen de las probetas saturadas en laboratorio.....	166
Anexo 6: Datos de los pesos secos de las probetas en laboratorio	171
Anexo 7: Biomasa seca del fuste y ramas	175
Anexo 8: Volumen obtenido de cada sección a través de la formula Smalian.....	176
Anexo 9: Valor estadístico de F y el p-valor de las ecuaciones para la estimación de biomasa	177
Anexo 10: Valor estadístico de t de student de las ecuaciones para la estimación de biomasa	180
Anexo 11: Estadísticos del análisis de regresión de las ecuaciones que cumplieron con los supuestos para la estimación de biomasa.....	183
Anexo 12: Valor estadístico de F y el p-valor de las ecuaciones para la estimación de volumen	186
Anexo 13: Valor estadístico de t de Student de las ecuaciones para la estimación de volumen	189
Anexo 14: Estadísticos del análisis de regresión de las ecuaciones que cumplieron con los supuestos para la estimación de volumen	193
Anexo 15: Estadísticos de las ecuaciones ponderadas seleccionadas para la estimación de biomasa.....	195
Anexo 16: Estadísticos de las ecuaciones ponderadas seleccionadas para la estimación de volumen	197

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la mejor ecuación para la estimación de biomasa aérea y estimación de volumen de la especie *Myrcianthes oreophila*, evaluados en el bosque Yanaunca en el distrito de Los Chankas, provincia de Chincheros, departamento de Apurímac.

Se utilizó el método destructivo y se evaluaron las variables diámetro a la altura del pecho, altura total, altura de fuste y diámetro de copa de 33 individuos, obteniéndose un total de 99 muestras de fuste y 33 muestras de ramas que se llevaron a analizar al laboratorio, donde se determinó la densidad básica y contenido de humedad. En gabinete se procedió a determinar el volumen, la biomasa de los individuos y se seleccionaron 122 modelos de ecuaciones en base a las variables independientes medidas. Los modelos fueron sometidos al análisis de regresión aplicando el método de mínimos cuadrados, para ello se tomaron en cuenta los criterios estadísticos: coeficiente de determinación (R^2), las pruebas de significancia estadística Fisher y t-Student y el análisis de residuos para la determinación de homocedasticidad. De las ecuaciones evaluadas, siete ecuaciones de biomasa y cuatro ecuaciones de volumen cumplieron con los supuestos.

Posteriormente, se realizó el análisis de regresión ponderada en aquellos modelos que no cumplieron los supuestos de homocedasticidad. Se generaron 2319 ecuaciones para la estimación de biomasa y 1886 ecuaciones para la estimación de volumen, de las cuales tres ecuaciones de biomasa y dos ecuaciones de volumen cumplieron con los criterios estadísticos y lograron homogenizar su varianza.

Para ambos casos se comparó el índice de Furnival de las ecuaciones aceptadas. Para la estimación de biomasa se seleccionó: $B = -17,041349 + 11,298824 * Dc + 0,721718 * DAP * Ht$, mientras que para la estimación de volumen se seleccionó: $V = -0,075962 + 0,026029 * Ht + 0,0000656 * DAP^{2,5}$

Palabras claves: *Myrcianthes oreophila*, Biomasa aérea, volumen, estimación, dióxido de carbono.

ABSTRACT

The present study aimed to determinate an equation for the estimation of aerial biomass and volume estimation of the *Myrcianthes oreophila* species, evaluated in the Yanaunca forest in the district of Los Chankas, province of Chincheros, department of Apurímac.

The destructive method was used and the variables diameter at breast height (DBH), total height (TH), shaft height and canopy diameter (CD) of 33 individuals were evaluated, obtaining a total of 99 shaft samples and 33 branch samples that were taken to be analyzed on laboratory, where the basic density and moisture content was determined. In the cabinet, the volume, the biomass of the individuals were determined and 122 models of equations were selected based on the independent variables measured. The models were submitted to the regression analysis using the least squares method, for this the statistical criteria were taken into account: coefficient of determination (R^2), the Fisher and t-Student statistical significance tests and the residual analysis for the determination of homocedasticity. Of the equations evaluated, seven biomass equations and four volume equations met the assumptions.

Subsequently, weighted regression analysis was performed on those models that did not meet the assumptions of homocedasticity. 2319 equations for the biomass estimation and 1886 equations for the volume estimation were generated, of which three biomass equations and two volume equations met the statistical criteria and managed to homogenize their variance.

For both cases, the Furnival index of the accepted equations was compared. For the biomass estimation the following were selected: $B = -17,041349 + 11,298824 * CD + 0,721718 * DBH * TH$, while for the volume estimation the following were selected: $V = -0,075962 + 0,026029 * TH + 0.0000656 * DBH^{2.5}$.

Keywords: *Myrcianthes oreophila*, Aerial biomass, volume, estimation, carbon dioxide.

I. INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años ha aumentado la preocupación por estabilizar las concentraciones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera que son aquellos que generan el calentamiento global (Stern, 2007).

De no plantearse acciones concretas por reducir las emisiones de CO₂, en el año 2100 su concentración en la atmósfera podría generar un incremento de la temperatura de hasta 4,8°C, lo que afectaría severamente la disponibilidad de agua, la continuidad de los servicios ambientales que producen los ecosistemas y tendría importantes efectos en las actividades humanas (IPCC, 2007).

Esta situación motivó la firma de acuerdos internacionales que buscan la adaptación y mitigación al cambio climático a través de diversas acciones y estrategias para reducir la emisión y captura de carbono, entre las que se encuentra la Reducción de Emisión de Carbono por Deforestación y Degradación de suelos REDD+ (Stern, 2007; Gálmez & Kómetter, 2009).

La capacidad de captura de carbono de los bosques ha sido apreciada cada vez más durante los últimos años. Sin embargo, la determinación de la cantidad de carbono que puede almacenar constituye un reto cuando se trata de evaluar el potencial de sistemas forestales, naturales, alterados o inducidos por el hombre (Schulze *et al.*, 2000). Asimismo, como resalta Kómetter (2009), pocas iniciativas e investigaciones se han orientado a la posibilidad de proyectos REDD y REDD+ en bosques andinos, a pesar de ser uno de los ecosistemas más frágiles por su complejidad y que albergan una gran biodiversidad y generan servicios ecosistémicos de gran importancia,

En este sentido, y debido a la relación que existe entre el contenido de carbono y biomasa de los árboles, surge la necesidad de la estimación de biomasa con el fin de determinar la capacidad de captura de CO₂ de las especies que se utilicen para tal propósito, para lo que se utilizan modelos de regresión y combinación de variables (Brown; 1997; Díaz, 2007).

La poca cantidad de iniciativas se da principalmente por la falta de información de las diversas especies. En el caso de Perú, especies endémicas como *Myrcianthes oreophila*, que se encuentra mayormente en forma de bosques relictos a lo largo de varias provincias en los departamentos de Apurímac, Ayacucho y Cusco, y que en la actualidad se encuentra en estado vulnerable según la UICN, debido a la alta presión antrópica para su uso como leña.

Por ello, el presente trabajo pretende generar información práctica de la especie *Myrcianthes oreophila* “Unca”, que podría servir como línea base para estimar el contenido de carbono neto en biomasa, con miras al uso de la especie para proyectos de bonos de carbono y con el fin de que se pueda potenciar la reforestación con especies endémicas.

El objetivo principal de este estudio es estimar la biomasa aérea de la especie *Myrcianthes oreophila* “unca”, en el bosque Yanaunca, distrito de Los Chankas en el departamento de Apurímac. Asimismo, los objetivos específicos son: i. Seleccionar la ecuación que mejor estime el volumen en la especie *Myrcianthes oreophila* “Unca” y ii. Seleccionar la ecuación que mejor estime la biomasa aérea en la especie “Unca” *Myrcianthes oreophila*.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESPECIE

2.1.1. TAXONOMÍA

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Sub clase: Magnoliidae

Orden: Myrtales

Familia: Myrtaceae

Género: *Myrcianthes*

Especie: *oreophila*

2.1.2. NOMENCLATURA

Nombre científico: *Myrcianthes oreophila* (Diels) M Vaugh, Comb. Now. *Eugenia oreophila* Diels, Bot. Jahrb. 37: 597. 1906.

Nombre común: Unca, Unka, Yanaunca

2.1.3. CARACTERÍSTICAS DE LA FAMILIA MYRTACEAE

La familia Myrtaceae incluye aproximadamente un total de 100 géneros y 3 000 especies entre árboles, arbustos y sub-arbustos. Asimismo, posee dos importantes subfamilias: Leptospermoidea, cuyo fruto es una cápsula seca; y Myrtoidea, cuyo fruto es una baya (Landrum, 1981). A esta última subfamilia, pertenecen los géneros *Myrceugenia*, *Luma*, *Reichea*, *Legrandia*, *Myrcianthes*, entre otros (Kuniyoshi, 2004).

Las especies de Mirtáceas habitan distintas zonas del mundo, entre ellos el trópico de Sudamérica, Oeste de India, Indomalasia, China, Nueva Guinea, Nueva Caledonia, Borneo, Australia, Nueva Zelanda y algunas islas del Pacífico (Kuniyoshi, 2004). Por otro lado, las especies de esta familia que más se utilizan a nivel mundial para la producción de madera son: el Arrayancillo (*Eugenia* spp.), Arrayán rojo (*Myrcia fallax*), Pimenta (*Pimenta dioica*) y

Eucalipto (*Eucalyptus* spp.), siendo este último considerado de importancia económica, por su rápida tasa de crecimiento, densidad y por ser utilizado principalmente como fuente de energía y materia prima idónea para la fabricación de productos como papel, miel o aceites esenciales. Asimismo, el Eucalipto se encuentra presente en más de 90 países, extendiéndose sobre más de 22 millones de hectáreas a nivel mundial y representando aproximadamente el 12 por ciento de las plantaciones forestales mundiales (Daetz, 2015).

2.1.4. ANTECEDENTES DEL GÉNERO MYRCIANTHES

El género *Myrcianthes*, posee aproximadamente 50 especies que se encuentran distribuidas en los Andes y las Antillas, siendo un género exclusivo del continente americano (Killeen, 1993). Del total, hay por lo menos 20 especies distribuidas en el Perú. (Brako & Zuricchi, 1993).

Con respecto a la especie *Myrcianthes oreophila*, suele tratarse de árboles medianos de 6 - 15 metros de altura: Sin embargo, se han encontrado individuos que llegan a alcanzar 35 m de altura y 60 cm de DAP (Lojan, 1992).

2.1.5. DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT

La especie se halla presente en la zona de vida Bosque Húmedo Montano y se distribuye en la zona Andina entre los 2 500 y los 4 000 msnm., en los estratos andinos II y III en formaciones de bosques húmedos y subhúmedos (Alcántara, 1997; Brako & Zaruchi, 1993). Es endémica de los departamentos de Apurímac, Cusco y Ayacucho, donde se encuentra en situación de peligro debido a la presión por deforestación (Reynel & Marcelo, 2009).

Se distribuye en las zonas más abrigadas, generalmente en quebradas y riberas de los ríos. Como se observa en la Figura 1, en el departamento de Apurímac se le encuentra en las provincias de Abancay, Andahuaylas (resaltando su presencia en el distrito de Ramracancha), Chincheros (con mayor presencia en los distritos de Ocobamba, Cocharcas, Ongoy, Uranmarca, Huaccana y Los Chankas). Además, se encuentran rodales de esta especie en el departamento de Ayacucho, en las provincias de Huamanga y Sucre; mientras que en Cusco se encuentra mayormente distribuida en las provincias de Anta, Paucartambo y Urubamba (Alcántara, 1997).

Según Cossios (2018), al igual que otras especies de bosques andinos, en la actualidad se encuentra distribuida como parches o vegetación de tipo relictual y restringida a localidades específicas con superficies mayores a 0,5 hectáreas. Sin embargo, estos relictos han ido

disminuyendo en área y aquellos bosques relictos que aún se mantienen son los que se encuentran en las zonas con menor accesibilidad para las poblaciones (Torres, 2016).



Figura 1: Mapa de distribución de la especie en el Perú.

FUENTE: Basado en Alcántara (1997).

2.1.6. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

La especie *Myrcianthes oreophila*, se caracteriza por ser un árbol de tamaño pequeño a mediano que puede alcanzar alturas totales entre 5-15 metros de altura y con diámetros a la altura del pecho de entre 10-30 centímetros. Asimismo, presenta un fuste irregular y una copa globosa con abundante follaje (Reynel & Marcelo, 2009).

Presenta una corteza externa lisa con tonalidades de colores marrón claro a rojizo, su corteza interna es homogénea y de muy poco espesor. Hojas simples y opuestas, con láminas ovadas y anchas con longitudes promedio entre 2 a 3,5 cm, ápice agudo hasta obtuso y borde entero. Asimismo, sus hojas son rígidas, lisas y lustrosas (Reynel & Marcelo, 2009).

Sus flores son hermafroditas, su disposición es en cimas axilares y terminales con ejes de tres flores las cuales presentan una densa cubierta pubescente de color blanco que a menudo son agregados (Reynel & Marcelo, 2009).

La corola presenta cuatro pétalos de 5 a 7 mm de longitud, una gran cantidad de estambres y un estilo delgado de 7-9 mm de longitud; fruto en forma de baya globosa y cuyos diámetros promedios varían entre 5-8 mm de diámetro, con tonalidades rojizas cuando maduran.

Generalmente, el fuste suele presentarse ligeramente inclinado, pero en terrenos planos suele ser más recto. La especie tiene la capacidad de rebrotar después de ser cortado y posee una copa bastante densa y globosa de color verde oscuro y con abundantes ramas secundarias (Alcántara, 1997).



Figura 2: *Myrcianthes oreophila*. (A) Ramita con hojas e inflorescencia. (B) Flor, vista lateral. (C) Flor, sección longitudinal.

FUENTE: Reynel & Marcelo (2009).

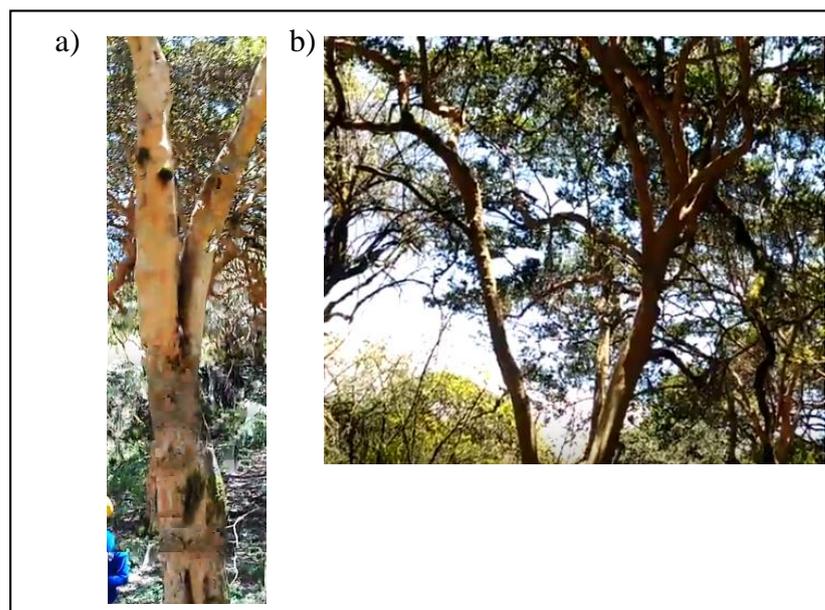


Figura 3: a) Fotos del fuste, b) Foto de la copa de la especie *Myrcianthes oreophila*.

FUENTE: Propia

2.1.7. SITUACIÓN DE LA ESPECIE

Especie categorizada como “Casi Amenazada” mediante el Decreto Supremo N°043-2006-AG de Categorización de Especies Amenazadas de Flora Silvestre. Asimismo, se encuentra dentro de la lista roja de la UICN como una especie “Amenazada”, dentro de la categoría de Vulnerable (WCMC, 2016).

2.1.8. FENOLOGÍA

La especie *Myrcianthes oreophila* registra floración anual, la cual se lleva a cabo en el mes de Julio, mientras que la presencia de frutos se da entre los meses de Agosto y Noviembre (Reynel & Marcelo, 2009).

En la Figura 4 se observa la fenología registrada según Alcántara (1997) en el distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros, departamento de Apurímac.

Fenología	MESES											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Floración					I							
						P	P					
								T				
Fructificación								I				
									P			
										T		
Semillas								I				
									P			
										T		

I= Inicio P=Pleno T=Término

Altitud: 3100 msnm

Figura 4: Fenología de la especie *Myrcianthes oreophila*.

FUENTE: Alcántara (1997).

2.1.9. PROPAGACIÓN DE LA ESPECIE

La especie cuenta con un promedio de 11 200 semillas por kilogramo y dentro de cada fruto se pueden encontrar dos semillas en promedio (Alcántara, 1997).

Sus semillas tienen un alto poder germinativo, empezando a germinar a los 26 días, aunque es una especie de lento crecimiento (Alcántara, 1997).

Presenta un poder germinativo de 77 por ciento en un sustrato de proporciones 3-2-1 de tierra negra, tierra agrícola y arena, que logra un 53,45 por ciento de plántulas vigorosas y con buenas características, soportando el repicado en un 75 por ciento (Rey, 2001; Alcántara, 1997).

Con respecto a su reproducción vegetativa, las estacas empiezan a brotar en promedio a los 46 días (Alcántara, 1997).

2.1.10. TIPOS DE SUELO

Prefiere los lugares con suelos de textura suelta (franco, franco arenoso) con pedregosidad baja y buenos niveles de humedad (Reynel, 1990).

2.1.11. ECOLOGÍA

Alcántara (1997) resalta que usualmente se encuentra asociada a otras especies también endémicas como: Aliso (*Alnus jorullensis* y *Alnus acuminata*), Chachacomo (*Escallonia resinosa*), Manzanito del Perú (*Hesperolemes lanuginosa*), Lloqe (*Kakaneckia lanceolata*), Maticillo (*Hydrocotyle* sp.), Matico (*Piper angustifolium*), Coca coca (*Erythroxylum* sp.), Tantar (*Dunalia spinosa*), Yareta (*Polymnia lehmannii*), Chiullur (*Valleastipularis*), Tayanco (*Baccharis* sp.). En algunos distritos de Apurímac se encuentra asociada al árbol de *Polylepis* (Baiker, 2011).

Según la clasificación de Tobón (2009), la especie *Myrcianthes oreophila* se encuentra en el Bosque montano alto. Por otro lado, según las zonas de vida de Holdrige, pertenece a la zona de vida de Bosque húmedo montano subtropical (bh-MS). Su presencia y predominancia se halla asociada a quebradas con agua permanente (Gasco, 2018), y su fruto atrae a diversas especies de aves, siendo el preferido por los chihuacos (*Turdus* sp.).

2.1.12. USOS DE LA ESPECIE

La especie *Myrcianthes oreophila* es de gran importancia por los servicios ecosistémicos que brinda en las poblaciones y comunidades, teniendo repercusión en la calidad del agua y en la regulación hídrica de la zona, así como de las partes más bajas (Vásquez *et al.*, 2017).

Debido a que la madera es dura, en localidades como Huaccana (distrito de Chincheros) suele ser utilizada para estructuras sencillas. Además, cuenta con un poder calorífico superior al eucalipto, proporcionando buena llama y un alto rendimiento, por lo que sus relictos están

siendo talados desde hace varios años para ser utilizados como carbón y leña (Alcántara, 1997; Reynel & Marcelo 2009).

Su madera de color blanquecino también es apreciada localmente para ebanistería. En el pasado precolombino se utilizó para la elaboración de vasos ceremoniales o keros (Alcántara, 1997; Reynel & Marcelo, 2009). En muchos casos y en individuos más grandes se le destaca por el uso de su madera para pisos. Hasta el momento no se ha realizado una descripción detallada de la madera de *Myrcianthes oreophila* debido a que es una especie poco conocida.

Sus hojas y flores se emplean para preparar infusiones aromáticas con propiedades medicinales para los cólicos estomacales e infecciones. Además, son utilizadas para calmar los dolores reumáticos, musculares, el dolor de golpes, resfríos articulares e inflamaciones a través de baños (Carpio, 2017). Tal como lo menciona Rodríguez (2006), la familia de las Mirtáceas se caracteriza por poseer recipientes secretorios con aceites esenciales en las partes vegetativas o florales, a lo que se atribuyen las propiedades medicinales.

En muchas comunidades como Cocharcas (provincia de Chincheros) es utilizada incipientemente para curtiembre y las ramas como horquetas para el almacenamiento y secado de la cosecha (Alcántara, 1997).

Su fruto solía ser consumido por los comuneros de forma directa, dado que su sabor es dulce y agradable con un olor parecido a la guayaba. Sin embargo, este consumo ha ido disminuyendo con el pasar de los años debido a la distancia de las comunidades a estos relictos de bosques (Alcántara, 1997).

<i>Myrcianthes oreophila</i> “unca”		
Uso o función	Descripción	Fuente
Ambiental	Control de erosión,	Mathez, 2017 Vásquez <i>et al.</i> , 2017
	Cortavientos	
	Protección contra lluvias y regulación hídrica	
	Protección contra granizada	
	Protección contra heladas	
Estructural	Vigas (uso estructural sencillo)	Torres, 2016

Continuación

Medicinal	Resfríos articulares	Carpio, 2017 Delgado, 1989
	Dolores de hueso	
	Golpes	
	Inflamaciones e infecciones	
	Aire	
	Migrañas	
Comestible	Frutos dulces y agradables	Alcántara, 1997
	Infusiones	
Utilitaria	Para la elaboración de utensilios	Reynel & Marcelo; 2009
	Elaboración de herramientas agrícolas como horquetas	
	Ebanistería	
	Elaboración de Pisos	
	Curtiembre	
Combustible	Leña	Alcántara, 2017 Husasquiche y Kómetter, 2017
	Carbón	

Figura 5: Usos de la especie *Myrcianthes oreophila*

FUENTE: *Elaboración propia*

2.2. ECOSISTEMAS FORESTALES ANDINOS: BOSQUES ANDINOS

Los Andes constituyen la cadena montañosa más larga del planeta, pues se extienden por más de siete mil kilómetros que abarcan latitudes tropicales, subtropicales y templadas. Los ámbitos comprendidos constituyen una región con gran heterogeneidad ambiental y complejos patrones de diversidad de especies y ecosistemas, todas estas características como resultado de la interacción de procesos biofísicos a escalas continentales, subregionales y locales (Josse *et al.*, 2003).

Los Andes se extienden desde Venezuela hasta Chile Austral y se dividen en: Andes del Norte o Septentrional, del Centro y los Meridionales. Sin embargo, lo que conocemos como región Andina Tropical comprende los Andes del Norte y del Centro, que tal como lo indican Josse *et al.* (2009), es considerada la región con más riqueza y biodiversidad de la Tierra, abarcando una extensión de 1 543 000 km².



Figura 6: Mapa de la Región Andina Tropical

FUENTE: Agencia de Noticias. Universidad Nacional de Colombia. (2013).

En los Andes tropicales se diferencian 133 ecosistemas, de los cuales, 113 son andinos y los restantes corresponden a zonas de transición vinculadas a fitorregiones colindantes de tierras bajas. Estos incluyen ecosistemas arbolados y no arbolados bajo distintos regímenes bioclimáticos y 77 están presentes en Perú, pero solo 23 (30 por ciento) tienen el 10 por ciento o más de su superficie bajo protección (Josse *et al.*, 2009). Además, son parte de agrupaciones más grandes con características similares las cuales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Principales ecosistemas clasificados según fitogeografía en los Andes Septentrionales y Centrales.

Ecosistema	Rango Altitudinal (msnm)
Páramo	Mayor a 3 000
Puna Húmeda	2 000 - 6 000
Puna Xerofítica	2 000 – 6 000
Páramo Altoandino	Mayor a 4 500
Bosque Nublado	1 000 – 3 600 (Sur de Perú)
Bosque Estacional Andino	800 - 3 100
Bosque Seco Andino	800 – 4 100
Valles Interandinos	1 900 – 3 500
Hábitats Acuáticos	Mayor a 800

FUENTE: Herzog et al., basado en Josse et al. (2009).

Los ecosistemas Andinos albergan una de las mayores concentraciones de especies con área de distribución restringida de América (Kier *et al.*, 2009), dando como característica principal el alto número de endemismo en flora y fauna, tal como se observa en la Tabla 2. Por ejemplo,

Young & León (1997) estimaron que en las Yungas peruanas se encuentra el 14 por ciento de la flora del Perú, en lo que representa el 5 por ciento del área del país.

Tabla 2: Número estimado de especies de flora y fauna de los Andes tropicales.

Especies	Plantas	Mamíferos	Aves	Reptiles	Anfibios	Total
Total	45 000	414	1 666	479	830	48 389
Total endémicas	20 000	68	677	218	604	21 567

FUENTE: Myers *et al.*, 2000.

Esta excepcional riqueza biológica ha respondido a tres factores condicionantes que dieron lugar a la fragmentación, aislamiento de las poblaciones y la especiación de los taxones, entre ellos: el levantamiento de la cordillera de los Andes, durante una serie de procesos orogénicos; la conexión con América del Norte a través el istmo de Panamá, la cual permitió el intercambio biótico y las fluctuaciones climáticas durante el Pleistoceno (Kessler *et al.*, 2011).

Por otro lado, como parte de la definición de ecosistemas forestales y en el marco del enfoque ecosistémico, se define el Ecosistema Forestal Andino (EFA) como el paisaje compuesto por bosques y áreas de producción agrícola y pecuaria, dentro de un área donde se dan relaciones ecológicas y socio-culturales, y que entre su importancia destaca su papel en la dinámica del agua (Gálmez & Kómetter, 2009).

Tal como se observa en la Tabla 1, dentro de esta definición de ecosistema forestal andino se pueden diferenciar los bosques andinos cuyos límites altitudinales varían según diversas fuentes y conforme a la latitud de los diferentes países en donde se encuentran, en un rango entre 800 – 4100 msnm (Gálmez & Kómetter, 2009).

Los bosques andinos cubren la mayor superficie de áreas naturales en los Andes con aproximadamente 337 000 km², constituyendo el paisaje matriz dominante (Webster, 1995).

Este tipo de ecosistemas, además del papel importante que cumple en diversos aspectos, presenta una composición florística única en el mundo. Como lo indican Tejedor *et al.* (2012) y Cuesta *et al.* (2012) la alta biodiversidad y endemismo de este tipo de bosques tiene origen en procesos a diversas escalas que se manifiestan mediante la gradiente de latitud, altitud, estacionalidad y cantidad de precipitaciones (Kessler *et al.*, 2011), destacando que uno de los factores ambientales que más los modifica y que le brinda los diferentes patrones de biodiversidad es la altitud (Herzog, 2012).

De acuerdo a estas características, Tobón (2009) los clasifica principalmente en tres: Bosque montano bajo o sub-andino, Bosque montano alto y Bosque alto-andino o Bosque de niebla.

- Bosque Montano Bajo o Subandino

Este tipo de ecosistema conserva una cobertura arbórea de compleja composición florística y una gran exuberancia en el tamaño.

Gran parte de la cubierta arbórea está constituida por especies latifoliadas y en menor grado por coníferas.

Estos bosques incluyen una gran complejidad de organismos, hay dominancia de árboles cuya altura varía entre 10 a 35 metros y suele presentar un sotobosque con abundancia de líquenes, musgos y plantas herbáceas (Tobón, 2009). Los bosques montanos de los Andes tienen una importancia global por ser reservorios de biodiversidad, por sus altos contenidos de carbono y por sus excepcionales funciones de regulación hídrica y el mantenimiento de una alta calidad del agua, controlando gran parte de los microclimas (Bubb, 2004; Tobón & Arroyave, 2007).

- Bosque Montano Alto

Este ecosistema representa uno de los más frágiles del mundo, debido a las fuertes pendientes que los hacen vulnerables a erosión acelerada por la presencia de lluvias muy intensas (Busmann, 2005). En consecuencia, estos bosques se encuentran prácticamente fragmentados, encontrándose como bosques relictos. Asimismo, aunque contienen una gran diversidad biológica es uno de los menos estudiados debido a su difícil accesibilidad. (Foster, 2001; Webster 1995).

Aunque hasta la actualidad no se tiene una cifra exacta de las especies de flora del ecosistema Bosque Montano en nuestro país, los investigadores han estimado una diversidad entre 2 350 a 3 000 especies de plantas (SERNANP, 2010).

- Bosque Alto Andino o de niebla

Los bosques de niebla presentan una dinámica hídrica muy poco convencional, cuya característica principal es la capacidad para interceptar agua de niebla como un aporte adicional de agua y la disminución de la transpiración, debido a la poca incidencia de radiación por la presencia de la neblina (Tobón & Gil, 2007).

Los Bosques Andinos cumplen un papel muy importante en la provisión de varios bienes y servicios ecosistémicos, entre ellos: la regulación del clima y el suministro de agua, atenuación de inundaciones y sequías, mitigación de emisiones de GEI y la gran cantidad de biodiversidad que contienen (Cuesta *et al.*, 2012).

Dadas estas características, es importante su investigación y la conservación de filogenias, recursos forestales maderables, no maderables y recursos genéticos (Young & León, 1999).

Pese a la importancia de estos bosques, se sabe muy poco sobre sus procesos de regeneración (Finegan, 1996), y casi nada sobre su ecología y funcionamiento, así como los requisitos del hábitat y el potencial para regeneración de las especies maderables importantes (Busmann, 2005). Además, presentan vacíos de información importantes en comparación con otros ecosistemas forestales, entre ellos los de la Amazonía. Estos vacíos se deben sobre todo por la complejidad de estos ecosistemas, la dificultad de acceder a muchos de ellos y a los diferentes procesos naturales y antrópicos que están llevando a su disminución, como la deforestación por cambio de uso de tierra (una de sus principales causas) y la degradación (Cuesta *et al.*, 2012). Esta falta de información y mínima gestión ha llevado a la fragmentación de dichos bosques, afectando directamente las interacciones entre organismos que lo habitan y de la provisión de los servicios que brinda (Huaranca *et al.*, 2006).

Asimismo, la fragmentación de un ecosistema asociado a la degradación forestal producto de de diversas actividades y cambios de uso de tierra, conlleva a un aumento de emisión de CO₂ (Armenteras *et al.* citados por Gálmez & Kómetter, 2009).

Adicionalmente, la interacción entre el cambio climático y el cambio de uso de la tierra implican impactos diferenciados sobre la estructura y funcionamiento de estos, lo que repercute en el bienestar de los pobladores andinos (Cuesta *et al.*, 2009).

2.3. EL PAPEL DE LAS ÁREAS BOSCOSAS

Los bosques contribuyen generando diferentes funciones de protección cuando en su estado natural se encuentran bajo buenas condiciones ecológicas o cuando siendo utilizados, se les gestiona de modo sostenible (Gottle & Séne, 1997).

Según los mismos autores, son estas condiciones las que permiten que crezcan con fuerza y vigor, contrarrestando fuerzas físicas que afectan a los suelos a través de la erosión del agua y la erosión del viento.

Los bosques cumplen un rol importante en diversos aspectos de protección y funciones ambientales, entre ellas la protección de los recursos de agua, pues gracias a su follaje intercepta la precipitación, la infiltración se hace más lenta y con ello se evita la escorrentía. En este sentido, el bosque ejerce un efecto amortiguador que protege contra las inundaciones y la erosión del suelo (Gottle & Sène, 1997).

En ecosistemas de bosques nublados, los árboles tienen la capacidad de retener precipitaciones en forma de niebla, que de esa forma es recogida y almacenada (Pérez *et al.*, 2007). Asimismo, la cubierta boscosa reduce la fuerza del viento y las raíces que mantienen a los árboles fijos al suelo logran evitar deslizamientos de suelo (Gottle & Sène, 1997).

Los bosques ofrecen un hábitat a la flora y fauna, garantizando su presencia a través de la continuación de sus procesos ecológicos. Debido a su extensión, variedad de hábitats y microclimas propicios se puede encontrar mayor diversidad de fauna en el bosque que en cualquier otro ecosistema. Destacando lo mencionado anteriormente, en los ecosistemas forestales andinos y Amazónicos existe una gran presencia de especies endémicas (Gottle & Sène, 1997).

Además, reducen el impacto de las emisiones de gases por medio del control de la velocidad y los flujos de aire, influyendo sobre la circulación local del aire, reteniendo las suspensiones sólidas y los elementos gaseosos y contaminantes (Gottle & Sène, 1997). Capturan gases de efecto invernadero a través de su biomasa aérea y la que se acumula en el suelo, entre ellos principalmente el dióxido de carbono, considerándose un servicio ambiental de gran importancia que contribuye a la mitigación del cambio climático (AIDER, 2015).

Por ello, en el marco de proyectos de “Retribuciones por Servicios Ambientales”, el sector forestal en el Perú ha avanzado en el desarrollo de dichas propuestas a través de “Los Proyectos de Carbono Forestal – PCF” (Gálmez, 2013).

Existen dos formas para el desarrollo estos proyectos: La primera es mediante la captura de dióxido de carbono a través de actividades de forestación y reforestación, la segunda forma es mediante la reducción de las emisiones de carbono derivadas de actividades de cambio de uso de la tierra que conlleva a la deforestación y degradación de los bosques, conocida como REDD+ (Gálmez, 2013).

AIDER (2015), resalta que los PCF pueden ser complemento de otras actividades como:

- Manejo forestal de productos maderables y no maderables.
- Protección de bosques en ANP de administración nacional, regional y privada.
- Reforestación con fines de recuperación de suelo y/o producción de madera.
- Forestación con fines de producción de madera.

Estos proyectos, al mitigar el cambio climático y generar co-beneficios sociales, económicos y ambientales para las poblaciones y comunidades locales, se convierten en proyectos de conservación y desarrollo humano que pasan por diversos procesos para su validación e implementación. En Perú, ya son varias las iniciativas que han logrado plasmarse en créditos de carbono por secuestro o almacenamiento, cuyo financiamiento en el mercado voluntario proviene de varias fuentes (públicas, privadas, nacionales e internacionales) y de diversos mecanismos como mercados de carbono y subasta de créditos (AIDER, 2015).

2.4. LOS BOSQUES COMO CAPTADORES DE CARBONO EN BIOMASA FORESTAL

Toda vegetación asimila CO₂ atmosférico, por medio del proceso fotosintético, además de otros elementos en el suelo y aire para convertirlos en madera. Los bosques, en particular, juegan un papel muy importante en el ciclo global del carbono, puesto que de forma permanente intercambian CO₂ con la atmósfera a través de la fotosíntesis y respiración (Álvarez, 2009).

Los bosques tienen la capacidad de almacenar una gran cantidad de carbono, para la producción de su biomasa aérea (tronco, ramas, corteza, hojas) y subterránea (raíces finas y raíces gruesas). Además, acumulan carbono en el suelo mediante su aporte orgánico a través de la necromasa. Por ello son considerados como sumideros, puesto que hacen transferencia neta de CO₂ del aire a la vegetación y al suelo donde son almacenados (Huges *et al.*, 1999).

Dicho elemento se desprende nuevamente hacia la atmósfera de forma lenta cuando los árboles viejos se descomponen o de forma rápida cuando son perturbados por causas naturales o antrópicas, convirtiéndose así en fuentes de carbono. Pero mientras están vivos, los árboles de mayor tamaño y edad juegan un papel clave en la dinámica del carbono del bosque (Stephenson *et al.*, 2014).

Cabe destacar que el carbono almacenado es la cantidad total de carbono contenido por la biomasa, mientras que el carbono capturado o secuestrado es una medida del flujo dinámico del crecimiento anual de la biomasa (Dávalos *et al.*, 2008).

Los bosques naturales y las plantaciones forestales en lugares que fueron pastizales, áreas degradadas y suelos sin cobertura resultan ser un gran sumidero de carbono y aunque depende de las especies empleadas y del crecimiento de la plantación, podrían reducir hasta en un 50 por ciento las emisiones de carbono en los próximos 100 años.

El tipo de vegetación de estos ecosistemas puede acumular entre 20 - 40 toneladas de carbono por hectárea, por encima del suelo, algo que los convierte en importantes reservas de este elemento, después de los arrecifes que ocupan el primer lugar almacenando CO₂ (IPCC, 2001). Además, poseen el potencial de absorber 1/10 de las emisiones de carbono a nivel mundial previstas para la primera mitad de este siglo en sus biomásas, suelos y productos (FAO, 2006).

Gayoso *et al.* (2002) afirman que el promedio de carbono almacenado en las diversas especies se encuentra entre 40,27 por ciento hasta 46,29 por ciento e incluso a más de 50 por ciento con respecto a la biomasa total de la especie, coincidiendo de esta forma con el IPCC (2006), quienes sugieren un factor de conversión de 50 por ciento.

El IPCC (2006) brinda valores por defecto, de la fracción de carbono según el tipo de ecosistema. Para Perú, al tener bosques que pertenecen a un ecosistema tropical y sub tropical se suele utilizar el factor de conversión de 0,49, dato utilizado en los inventarios nacionales de GEI y en las metodologías de proyectos de reforestación y conservación (Málaga *et al.*, 2014).

2.5. BIOMASA FORESTAL

La biomasa es considerada como la masa total de los organismos vivos en un espacio determinado, en algunos casos también incluyen los restos de plantas que han muerto recientemente (IPCC, 2001). La biomasa vegetal se obtiene como resultado de la producción primaria que es incorporada a sus tejidos y que se manifiesta a través del crecimiento (Sato, 1982). Asimismo, es expresada en peso anhidro (seco) en toneladas por unidad de área (Brown, 1989).

La biomasa de un bosque o plantación suele variar según la especie y la edad, como también la densidad, el sitio y el tratamiento silvicultural, en caso se diese (García, 1995; citado por Duncan, 2005).

La biomasa forestal es un elemento importante en los estudios sobre el cambio climático, dado que es un indicador de carbono almacenado y es vital para una parte de la población humana que vive en las zonas rurales y que de alguna u otra forma depende de ella por ser una fuente primordial de combustible para cocinar y para contrarrestar el frío de dichas zonas (González, 2008).

2.6. ESTIMACIÓN DE BIOMASA

En años recientes se ha incrementado el interés por estudiar el papel de los bosques en los ciclos de elementos biogeoquímicos, especialmente del carbono como gas de efecto invernadero. Dada la relación entre los árboles y el carbono, la estimación de la biomasa de los bosques se ha convertido en un tema relevante en relación con el problema del calentamiento global del planeta (Delaney *et al.*, 1997).

Desde hace algunos años atrás, en el ámbito internacional se han generado estrategias para la mitigación del calentamiento global, como las negociaciones de créditos o bonos de carbono. Para hacer realidad estas estrategias en proyectos forestales es necesario medir y monitorear el carbono almacenado, para lo cual se debe calcular la cantidad de biomasa presente (González, 2008).

Para ello, existen diversas metodologías con las que es posible cuantificar el carbono de especies y bosques determinados, dichas metodologías permiten estimar el carbono capturado por medio de “modelos alométricos” o ecuaciones, que permiten estimar la biomasa de cada componente del árbol, los cuales por medio de análisis en laboratorio arrojan con gran aproximación la capacidad de carbono almacenado en determinada especie (CAEM, 2014).

Las ecuaciones de biomasa son las más utilizadas para estimar el almacenamiento y captura de carbono en bosques. Por ello, se adoptan en la mayor parte de las investigaciones vinculadas a la cuantificación de biomasa en los bosques naturales (Higuchi *et al.*, 1998).

Méndez *et al.* (2011) señalan que la generación de ecuaciones de biomasa es importante ya que permiten evaluar la estructura y condición de cada tipo de bosque, cuantificar su productividad, determinar la cantidad de carbono fijado, la tasa de fijación de CO₂, y con ello valorar el impacto en la mitigación de gases efecto invernadero.

Para ello es importante definir en la investigación el nivel de estudio, del cual dependerá la metodología a seguir, pues muchos estándares se limitan a biomasa en crecimiento, mientras que otros incluyen la biomasa total viva, muerta y el suelo (González, 2008).

Según Segura & Kanninen (2002) se pueden emplear dos métodos generales para la estimación de biomasa: Los métodos directos o destructivos y los métodos indirectos.

2.6.1. LOS MÉTODOS DIRECTOS O DESTRUCTIVOS

A pesar de ser los más costosos y los que requieren de más tiempo, también son los más utilizados por su precisión y confiabilidad. Consiste en cosechar los árboles para calcular el peso seco o biomasa de cada uno de los componentes con lo que luego se determina el carbono total almacenado. Permite formular relaciones entre la biomasa y las variables de fácil medición como el diámetro a la altura del pecho, altura comercial, altura total, diámetro de copa y entre otras (González, 2008).

Estos métodos consideran que los árboles a extraer deben tener la forma, sanidad del fuste y volumen de copa de la población muestreada y estar en relación a las frecuencias de las clases diamétricas encontradas (Andrade & Segura, 2008).

Para obtener la biomasa aérea de una población específica que carece de una base de datos o de no contar con estudios de especies similares es de suma importancia realizar la estimación por método directo, seleccionando y extrayendo árboles que representen a la población en estudio, generalmente en número igual o mayor a 30 individuos (Rueda, 2014; Andrade & Segura 2008). Con un número mayor a 30 individuos se cumple el supuesto de distribución normal de la población por el Teorema del límite central (Levin & Rubin, 2004).

Cuando el grado de homogenización del bosque o plantaciones es alto (por ejemplo, en plantaciones monoespecíficas) se requiere de una menor cantidad de árboles (Caicedo & Niño; citados por Lopera & Gutiérrez, 2000).

2.6.2. LOS MÉTODOS INDIRECTOS

Estos métodos son utilizados cuando existen árboles de dimensiones mayores y en algunos casos en que se requiera conocer la biomasa de un bosque sin tener que tumar los árboles (Parresol, 1999). Al aplicar estos métodos se estima el volumen de los árboles por cada parte o componente (fuste y ramas) a través del uso de fórmulas dendrométricas. Posteriormente, el volumen total se obtiene con la suma de los volúmenes parciales obtenidos por cada parte (Schlegel *et al.*, 2000).

Posteriormente, se toman muestras de fuste y ramas para calcular en el laboratorio los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la densidad básica en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3). Además, se utiliza un factor de expansión de biomasa, que es el cociente entre la biomasa aérea total y la biomasa de los fustes. Este factor de expansión se utiliza generalmente cuando no hay inventarios forestales con la información a detalle de las variables que caracterizan a los árboles (Terán *et al.*, 2008).

El cálculo de la Biomasa aérea (BA) de un árbol se realiza mediante la siguiente formula:

$$BA = V * Db * FEB$$

Donde:

BA= Biomasa aérea (t/ha)

V= Volumen (m³)

Db= Densidad Básica de la madera (t/m³)

FEB= Factor de expansión de la biomasa.

Sin embargo, estas ecuaciones obtenidas de forma indirecta, no suelen ser lo suficientemente precisas, pues utilizan un solo factor de expansión por especie, cuando en realidad existe una gran variabilidad por las diferentes formas de los árboles (Schlegel *et al.*, 2000).

Otro factor de importancia en los estudios de biomasa es la medición de las raíces; sin embargo, requiere de un trabajo más amplio y suele presentar niveles bajos de precisión comprobados (Macdiken, 1997). Por ello, con la finalidad de estimar biomasa de raíces y simplificar su cálculo para proyectos de captura de carbono, algunos autores recomiendan utilizar valores reportados en literatura. Sierra *et al.* (2001) mencionan que en promedio las raíces aportan un aproximado de 18 por ciento de la biomasa total, mientras que el IPCC (2007) brinda un factor de 1,1 como ratio a multiplicar con la biomasa aérea en especies de bosques tropicales.

Una vez obtenida la biomasa total de los árboles muestreados mediante la utilización de diferentes técnicas estadísticas, se obtienen relaciones directas entre la biomasa total del árbol y las variables del mismo medidas en pie (CAEM, 2014).

Para determinar estas relaciones se utilizan una serie de indicadores estadísticos como el coeficiente de determinación R², Prueba de significancia F, prueba t de Student, el análisis de residuos, el cuadrado medio del error y el índice de Furnival. Una vez obtenida la ecuación, el volumen de otros árboles se puede estimar solo conociendo el valor de los predictores (García, 1995).

Una de las variables que se correlaciona y predice mejor la biomasa es el DAP, siendo una variable fácil de medir y que se registra en la mayoría de los inventarios forestales (Chave, 2006).

2.7. DENSIDAD BÁSICA

Dentro de las propiedades físicas de la madera, la densidad es una de las más importantes, dado que determina el valor y la utilidad de la misma. Además, está fuertemente correlacionada con otras propiedades como la resistencia mecánica, la rigidez, la conductividad térmica y el calor específico (Davel *et al.*, 2005).

Asimismo, es importante porque informa sobre la cantidad de carbono que la planta contiene en su constitución. Sin embargo, esta varía dentro de las partes de la planta, durante la vida de la planta y entre individuos de una sola especie (Chave, 2006).

Para determinar la densidad se puede utilizar el método de desplazamiento de agua, para el cual se colocan las muestras en un recipiente con agua, donde deben permanecer hasta lograr su saturación (peso constante). Para obtener el volumen por desplazamiento en agua se coloca un recipiente con agua sobre una balanza analítica, posteriormente se introduce cada muestra de madera sin que toquen las paredes, ni el fondo del recipiente. De este modo se obtiene el peso del agua desplazada (considerando la densidad del agua como la unidad) que corresponde al volumen de la muestra en g/cm^3 (Valencia & Vargas, 1997).

Asimismo, de acuerdo a la “Clasificación de maderas peruanas para uso estructural según densidad básica y resistencia mecánica”, las maderas se pueden agrupar en A, B y C según su densidad básica como se observa en la Tabla 3 (Dirección Nacional de Construcción, 2014).

Tabla 3: Grupos estructurales de madera, según densidad.

Grupo	Densidad Básica g/cm^3
A	$\geq 0,71$
B	0,56 a 0,70
C	0,40 a 0,55

FUENTE: Norma Técnica Peruana. E.010

En relación al comportamiento o variación longitudinal de la densidad, diferentes estudios demuestran que ésta varía desde la base hasta la copa en todas las especies (Goché *et al.*, 2000).

Una de las especies más estudiadas en este aspecto de la familia Myrtaceae es el eucalipto, mientras que para el género *Myrcianthes* no hay estudios relacionados. Omonte & Valenzuela (2011) determinaron que para *Eucalyptus regnans*, la densidad aumenta desde el 4,5 por ciento de altura hasta el 70 por ciento de su altura, siendo el aumento desde $0,404 \text{ g/cm}^3$ hasta

0,462 g/cm³, considerándose que no existe una gran variación por lo que se puede estimar una densidad promedio.

Este mismo comportamiento de aumento de densidad a lo largo del fuste fue reportado por varios autores como: Frederick *et al.* (1982) en *Eucalyptus regnans*, así como también, Lausberg *et al.* (1995), Raymond y MacDonald (1998) y Raymond y Muneri (2001) en *Eucalyptus nitens*. Raymond y MacDonald (1998) y Monteoliva *et al.* (2002) en *Eucalyptus globulus*, así como Ferreira (1972) en *Eucalyptus grandis*, donde la densidad mínima se observa en la primera altura de muestreo, generalmente a la altura de tocón.

Asimismo, Valverde (2017) reporta que los promedios obtenidos para la madera del fuste de *Eucalyptus globulus* son de 49,84 g/cm³ para la sección apical; 51,82 g/cm³ para la sección media y 55,84 g/cm³ para la sección apical; mientras que las ramas presentaron una densidad básica promedio de 60,48 g/cm³.

2.8. VOLUMEN

Tanto para el bosque nativo o natural, así como en plantaciones forestales es de gran importancia conocer la cantidad y calidad del recurso forestal con el que cuentan, entre otros aspectos, para poder realizar un manejo sustentable del mismo. Para ello, existen diversas formas de cuantificar el recurso forestal, entre ellas el volumen (Valencia, 2013).

El volumen expresa la cantidad de madera en árboles y rodales y es una de las formas más utilizadas a nivel mundial. Una herramienta para determinar ese volumen son las tablas de volumen (Fucaraccio & Staffieri, 1999).

FAO (1980), define a las tablas de volumen como una fórmula o gráfica que brinda el volumen de un árbol o varios de ellos a través de algunas variables denominadas “entradas de la tabla o tarifa”. En tanto, Husch *et al.* (2003) las definen como una expresión tabulada que establece los volúmenes de árboles de acuerdo a uno o más de sus dimensiones fáciles de medir, tales como el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura y la forma.

2.8.1. ESTIMACIÓN DE VOLUMEN

Aunque las tablas de volumen han sido una de las herramientas más utilizadas, actualmente han sido sustituidas por ecuaciones de volumen, las cuales son modelos matemáticos que representan el volumen de madera por árbol para una especie o conjunto de especies a partir de una o más variables independientes mencionadas (Maggio & Cellini 2016).

Las ecuaciones de volumen brindan el volumen de fuste, parcial o total del árbol, incluyendo o no las ramas, con o sin corteza y por medio de variables o parámetros de variables resultantes del diámetro a 1,30 m y la altura total. Estas se han calibrado por medio de técnicas de regresión donde el volumen de interés es la variable dependiente y la altura o diámetro y algunas de sus funciones son las variables independientes (Valencia, 2013).

Para ello, se utilizan una serie de indicadores estadísticos, los mismos que son usados para las ecuaciones de biomasa. Una vez obtenida la ecuación, el volumen de árboles de la misma especie se puede estimar a través de los predictores (García, 1995).

Bautista (2000) resalta la importancia del uso de las ecuaciones de volumen en el inventario forestal porque permite la estimación objetiva del volumen de un número grande de árboles y volúmenes totales a partir de mediciones detalladas en una muestra, es decir en un número limitado de árboles seleccionados dentro de la superficie forestal.

La literatura forestal señala que se han desarrollado varios modelos de ecuaciones de volumen, de los cuales 10 son los más populares, ya que pueden utilizarse para diversas especies con características similares. Entre éstos modelos de ecuaciones destacan el de la variable combinada de Spurr en forma normal o transformada al logaritmo natural, de Schumacher y Hall, de Naslund, Australiana, Sloboda, entre otros (Valencia, 2013).

Una mejor sistematización de los modelos de las ecuaciones se presenta más adelante.

2.9. ESTUDIOS DE ESTIMACIÓN DE BIOMASA Y VOLUMEN EN BOSQUES ANDINOS

En Colombia: Pérez & Díaz (2010) realizaron una investigación sobre la estimación del carbono contenido en la biomasa forestal aérea de bosques andinos de Roble (*Quercus humboldtii* Bonpl) y Encenillo (*Weinmannia tomentosa* L.f.) donde utilizaron ecuaciones alométricas de biomasa a través del método indirecto en función del diámetro a la altura del pecho DAP, realizándola a partir de la cubicación en pie del árbol con la validación de un modelo de autosemejanza, y el cálculo de densidades para las principales especies de los bosques.

En Bolivia: Terán *et al.* (2008) estimaron valores de biomasa aérea de todos los individuos arbóreos con DAP mayores a 10 cm en bosques naturales de cuatro ecorregiones bolivianas. Para ello utilizó información de 74 inventarios forestales, de los cuales se obtuvieron 600 000

datos de árboles y la ecuación más exigente desarrollada por Brown *et al.* (1989) que requiere el DAP, altura total y densidad básica como variables independientes. Otros resultados logrados fueron los factores de expansión de volumen y de biomasa, permitiendo un mayor uso de los datos de inventarios convencionales.

En Chile: Gayoso & Guerra (2005) determinaron el contenido de carbono (CO₂) en fuste, ramas, hojas y corteza para 16 especies de un bosque nativo; los contenidos de CO₂ (como porcentaje de la biomasa encontrada) en promedio fueron de 48,3 por ciento y el promedio simple alcanzó $43,7 \pm 0,16$ por ciento. El carbono del fuste corresponde a $44,4 \pm 0,16$ por ciento, siendo que para todas las especies resultó siendo mayor que en las ramas, hojas y corteza ($43,5 \pm 0,21$ por ciento).

En Perú: Urquiaga (2012) y Calderón & Lozada (2010) realizaron estudios en diferentes variedades de *Polylepis*, entre ellas *P. incana* y de *P. reticulata* en las que determinaron la cantidad de carbono fijado y la cantidad total de biomasa, generando ecuaciones en las que utilizaba como principales variables el logaritmo neperiano de la altura y el Logaritmo n del diámetro.

Deza *et al.* (2010) realizaron una investigación en estimación de biomasa aérea de *P. multijuga*, pero este resultado incluye la biomasa contenida en ramillas y hojas; destacando que del total de la biomasa aérea de cada árbol el 61,1 por ciento provino de las ramas; el 35,4 por ciento de las hojas y ramillas; y sólo el 3,5 por ciento del fuste.

Asimismo, uno de los últimos estudios fue el realizado por Rivera (2017) a través de la estimación de biomasa aérea de la especie *Polylepis flavipila* en el bosque Japaní en Carampoma, Huarochirí. En este estudio, utilizó el método no destructivo, evaluó un total de 40 individuos y realizó la regresión lineal y análisis de criterios estadísticos con los cuales evaluó 100 modelos de ecuaciones de la cual seleccionó la más adecuada para la determinación de la cantidad de carbono del bosque.

Otra investigación en bosques andinos es la presentada por Girardin *et al.* (2010), quienes examinaron los patrones espaciales de la dinámica del carbono en la biomasa aérea y subterránea con un transecto que va extendiéndose desde bosques de tierras bajas (<800m), a través de pre-montano (800-1200 msnm), montano bajo (1200-2200 msnm) y el bosque montano superior (2200-3400 msnm). Se encontró que los valores de biomasa aérea disminuyeron de 123,50 tC/ha en 194 msnm a 47,03 tC/ha en 3020 msnm.

En otro estudio en bosques altoandinos, al no contar los investigadores con información de especies o zonas similares y al no poder ralear los árboles, aplicaron un método no destructivo y no convencional para la estimación de biomasa aérea basado en el aprovechamiento parcial de las copas de los individuos arbóreos, cálculos del volumen y masa del fuste, extrapolando luego esta información a los datos de un inventario (Fehse *et al.*, citados por Gálmez & Kometter, 2009).

Estimar la biomasa aérea en bosques altoandinos es posible siempre y cuando se cuente con información de base, la cual luego será tratada según la cantidad y calidad de información existente (Osinaga *et al.*, 2014).

Sin embargo, es importante destacar que, en los bosques andinos, por la gran complejidad que presenta, las actividades de investigación han sido limitadas o no se han desarrollado suficientemente, a tal punto que no se ha logrado determinar modelos estandarizados que permitan estimar la biomasa de las especies presentes (Reynel *et al.*, 2006; Gálmez & Kometer, 2009).

2.10. ECUACIONES PARA LA ESTIMACIÓN DE BIOMASA Y VOLUMEN

2.10.1. ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL

El análisis de regresión lineal es una de las técnicas o métodos más utilizados en la actualidad para el desarrollo de ecuaciones para la estimación de biomasa y volumen, mediante el uso de ecuaciones de regresión que son las que definen la relación entre dos o más variables (Lind *et al.*, 2004).

Chatterjee y Price (1999) indican que esta técnica proporciona un método sencillo para el establecimiento de una relación funcional entre las variables. Estas relaciones son expresadas a través de una ecuación:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n + e$$

Donde:

y : Variable dependiente.

b₀ : Intercepto o constante del modelo.

b₁ : Estimación de la pendiente en x₁.

x₁, x₂...x_n : Variables independientes del modelo.

e : Residual del modelo.

El análisis de regresión lineal puede ser simple o múltiple. El análisis de regresión lineal simple se expresa en forma de una ecuación que conecta la variable respuesta o dependiente a una variable independiente (Chatterjee & Price, 1999). La regresión lineal múltiple es utilizada cuando se estudia la posible relación entre varias variables independientes (explicativas) y otra variable dependiente, donde el uso de más de una variable explicativa ofrece la ventaja de utilizar más información en la construcción del modelo y por ello, brindará estimaciones más precisas (Chatterjee & Price, 1999, Montgomery *et al.*, 2006; Rojo, 2007).

El análisis de regresión lineal basado en el método de los mínimos cuadrados es una técnica para ajustar ecuaciones predictivas a datos originales, que se emplea para obtener la ecuación de regresión minimizando la suma de los cuadrados de las distancias verticales entre los valores verdaderos de “Y” y los valores pronosticados de “Y” (FAO, 1980; Lind *et al.*, 2004).

Sin embargo, para que este método sea correcto debe cumplirse con los supuestos de los Mínimos Cuadrados, es decir, que las muestras sean obtenidas al azar, que la población tenga una distribución normal y que presente homogeneidad de varianzas (Barrena, 1988; Chatterjee & Price, 1999).

Para la selección del modelo es importante considerar elementos de decisión de estadística tales como el coeficiente de determinación (R^2), Análisis de Varianza, Cuadrado Medio del Error (CME) y significancia de los parámetros evaluados (González, 2008).

En sentido estadístico, para que los parámetros de la ecuación ajustada sean correctos se deben cumplir ciertos supuestos:

- Linealidad: la relación entre la variable dependiente y la(s) variable(s) independiente(s) es lineal.
- Homocedasticidad: los residuos tienen varianza constante.
- Normalidad: los residuos presentan una distribución normal.
- Independencia: Los valores de la variable “y” son estadísticamente independientes.

En la elección del modelo de regresión, se debe tomar en cuenta la simplicidad del modelo (menor cantidad de coeficientes) y si la regresión debe ser ponderada o no ponderada (se debe ponderar cuando la varianza del volumen o biomasa depende de las variables explicativas) (Cailliez, 1980).

2.10.2. MODELOS DE REGRESIÓN

Existen una gran variedad de modelos de ecuaciones para la estimación de biomasa y volumen y como lo indica Lojan (1966) muchas están concentradas en función del diámetro y la altura.

Aunque existen varias ecuaciones de estimación para la biomasa y volumen de los árboles no se puede adoptar ninguna para un bosque sin un estudio previo de exactitud o proximidad entre los datos reales y pronosticados. Esto implica que se busque una ecuación para cada especie o para cada bosque que cuente con algunas características similares (Gálmez & Kometter, 2009).

Da Cunha *et al.* (2009) realizó una recopilación de modelos de ecuaciones de volumen más usadas con sus respectivos autores, la cual se muestra en la Tabla 4.

Los modelos principalmente consideran como variables el DAP y la altura de copa.

Tabla 4: Modelos de ecuaciones de volumen más utilizados.

Variables Independientes	Autor	Modelo
D	Dissescu-Stanescu	$V = \beta_0 + \beta_1 d^2 + E$
	Dissescu-Meyer	$V = \beta_1 d + \beta_2 d^2 + E$
	Hohenadl-Krenn	$V = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + E$
	Berkhout	$V = \beta_0 + d^{b1} + E$
	Husch 1963	$\log V = \beta_0 + \beta_1 \log d + E$
	Brenac	$\log V = \beta_0 + \beta_1 \log d + \beta_2 (1/d) + E$
D, h	Spurr 1951	$V = \beta_1 d^2 h + E$
	Spurr (Var. Combinada)	$V = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + E$
	Spurr (log form)	$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln d^2 h + E$
	Stoate	$V = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 h + E$
	Hohenadl-Krenn	$V = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 h + E$
	Naslund	$V = \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 d h^2 + \beta_4 h^2 + E$
	Meyer	$V = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 d h + \beta_4 d^2 h + E$
	Meyer (modificada)	$V = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 d h + \beta_4 d^2 h + \beta_5 h + E$
	Schumacher-Hall	$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h + E$
	I.B.W. (Alemanha)	$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln^2 d + \beta_3 \ln h + \beta_4 \ln^2 h + E$

FUENTE: Tomado de Da Cunha *et al.* (2009).

Las ecuaciones de biomasa mejoran su predicción cuando se utilizan al mismo tiempo las variables diámetro y altura. Sin embargo, es importante mencionar que la medición de alturas no suele realizarse de forma precisa en campo debido al tiempo, accesibilidad o poco espacio para visibilizar y medir desde una posición adecuada (Díaz *et al.*, 2007).

Brown y Lugo (1992) sostienen que las ecuaciones basadas en el DAP como única variable tienden a sobreestimar los resultados. Sin embargo, no necesariamente se cumple en todos los casos, dado que encontraron que ecuaciones que utilizaban DAP y altura total presentaban una mayor sobreestimación de biomasa en comparación a las mencionadas anteriormente.

Asimismo, Philip, Bouchon & Cunia, citados por Barrena (1988) mencionan que la varianza del volumen de los árboles grandes es mucho mayor que la de los árboles pequeños, porque depende del valor del DAP elevado al cuadrado, multiplicado por la altura y todo elevado al cuadrado, lo que puede acarrear inferencias estadísticas erróneas porque no se cumple con la homogeneidad de varianzas (homocedasticidad).

2.10.3. ANÁLISIS DE CRITERIOS ESTADÍSTICOS

Barrena *et al.* (1986), Gujarati (1992) y Escobar (2015) mencionan que la construcción de las ecuaciones de biomasa y volumen debe hacerse de forma objetiva en base a diversos criterios importantes, entre ellos:

a. Coeficiente de determinación

El coeficiente de determinación es una medida de la bondad de ajuste, que permite decidir si el ajuste lineal es suficiente o se deben buscar modelos alternativos (Uriel, 2013). Es el porcentaje de la variación total en la variable dependiente Y, que se explica por la variación en la variable independiente X y en el caso de trabajarse con dos o más variables independientes expresa la variación total que es explicado por la regresión o modelo ajustado (Lind *et al.*, 2004).

De las dos medidas de la bondad del ajuste del modelo lineal que son la varianza residual y el coeficiente de determinación, es preferible este último, ya que la varianza residual es una medida de carácter absoluto y su cuantía depende de la magnitud de la variable endógena, mientras que R^2 es una medida adimensional, de fácil cálculo e interpretación (Martínez, 2005).

Los valores de R^2 varían entre 0 y 1. Si todos los puntos observados estuvieran en la línea de regresión, R^2 sería igual a 1, lo que significaría que hay un muy buen ajuste. Por lo tanto, un R^2 cercano a 1 indica buen ajuste y un R^2 cercano a cero indica un mal ajuste, lo que supone que el modelo no explica nada de la variación total de la variable Y (Vélez, 2003).

De forma general, diversos autores indican que resultados de R^2 mayores a 0,60 pueden ser utilizados para diversos estudios. Acuña (2010) manifiesta que un R^2 mayor a 0,7 indica una buena relación lineal entre las variables. Alvarado & Obagi (2008) recomiendan que el R^2 sea

mayor a 0,8 para modelos lineales, y que el mínimo valor para aceptar una ecuación en el estudio de ciencias exactas es de 0,75.

b. Análisis de varianza

Prueba de significancia estadística FISHER - F

Permite determinar si la regresión lineal simple es globalmente significativa. Prueba la capacidad de las variables independientes para explicar el comportamiento de la variable dependiente. Es decir, permite determinar si es posible que todas las variables independientes tengan coeficientes de regresión neta iguales a cero (Lind *et al.*, 2004).

El valor de F es el cociente del cuadrado medio de la regresión y el cuadrado medio del error. Asimismo, Da Cunha & Guimaraes (2009) expresan que cuanto mayor es la variación explicada por el modelo (SQ_{Reg}) y menor es la variación no explicada por el modelo (SQ_{Res}), mayor será el valor de F, indicando que el modelo tiene buen ajuste.

Según Palomo (2011), esta distribución permite la realización del contraste según las hipótesis:

$$H_0 : b_1 = b_2 = \dots = b_k = 0$$

$$H_1 : \text{Existe algún } b_i \text{ con } i = 1, \dots, k. \text{ Tal que } b_i \neq 0.$$

Si la hipótesis nula es verdadera, implica que todos los coeficientes de regresión son cero y no son de utilidad al estimar la variable dependiente, por lo que se debe buscar otras variables o adoptar un enfoque diferente (Lind *et al.*, 2004).

Asimismo, el criterio de decisión de rechazar o no la hipótesis nula (H_0) y comprobar que existe relación entre las variables y es determinado por el “p-value” o “p-valor”, que tal como lo indican Lind *et al.* (2004) y Rojo (2007) se evalúa a un nivel de confianza de 95 por ciento ($\alpha = 0,05$) rechazándose aquellas con un p-valor superior a 0,05.

Prueba de significancia estadística “t” de Student:

Consiste en probar individualmente las variables para determinar cuáles coeficientes de regresión pueden tener un valor igual a 0 y cuáles no. Que tenga un valor igual a cero implica que dicha variable independiente en particular no tiene ningún valor para explicar cualquier variación en el valor dependiente (Lind *et al.*, 2004).

Para ello, se evalúan las siguientes hipótesis:

$$H_0: \beta_1 = 0. \text{ El coeficiente es estadísticamente igual a cero.}$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0. \text{ El coeficiente es estadísticamente diferente a cero.}$$

Si el valor de t calculado es mayor o igual al valor tabular; entonces, se rechaza la Hipótesis nula (H_0), caso contrario se acepta.

Se debe proponer un nivel de significancia (α) para determinar el p -valor, que viene a ser la operación inversa de encontrar el valor en las tablas estadísticas, para lo cual debe presentar un nivel de significancia estadística de un 95 por ciento, rechazándose la H_0 cuando $\alpha = 0,05 > p$ -valor; por el contrario, la H_0 no se rechaza cuando $\alpha = 0,05 < p$ -valor (Uriel, 2013).

2.10.4. ANÁLISIS DE LOS RESIDUOS

El análisis de residuos es uno de los elementos más importantes para visualizar el desempeño de la ecuación de regresión. Para ello, la mayoría de los supuestos puede corroborarse usando los residuos ($Y_i - \hat{Y}_i$), que representan la distancia de cada observación a la recta ajustada (Orellana, 2008).

Montgomery (2004) destaca que es necesario aplicarlo para examinar el modelo ajustado, asegurando de que proporciona una aproximación adecuada del verdadero sistema y para verificar que no se infringe ninguno de los supuestos de la regresión de mínimos cuadrados.

El análisis gráfico de los residuos se realiza observando la distribución de los residuos contra los valores de las estimaciones (Da Cunha & Guimaraes, 2009). En este método, los desvíos se encuentran distribuidos en un sistema de ejes ortogonales, en el eje de las ordenadas se encuentran los residuos y en el eje de las abscisas, la variable dependiente estimada (Da Cunha *et al.*, 2009).

Chatterjee & Price (1999) indican que es un método simple y eficaz para la detección de deficiencias en el modelo, exponiéndose los errores de cada modelo a través de un gráfico apropiado de residuos. Permite detectar posibles tendencias de ajuste a lo largo de la línea de regresión para toma de decisión en cuanto al uso o no de la ecuación ajustada, considerándose no adecuada cuando existe la formación de patrones de distribución o la concentración de residuos (Floriano, 2004).

El análisis de los gráficos de residuos tiene como fin evaluar su comportamiento y determinar si cumplen con el supuesto de homocedasticidad, esto implica poder obtener una relación estable y útil entre ambas variables. Tal como lo mencionan De Arce & Mahía (2009) significa que, aunque el error puede ser mayor para mayores valores de “ x ” (sin condicionar que el error

tenga un tamaño igual para todos los “x”), la dispersión del error será la misma, lo que permite considerar como igualmente válidos todos los datos muestrales de los regresores “x”.

De existir dichos patrones no se estaría cumpliendo con el supuesto de homogeneidad de varianzas (homocedasticidad), por lo que el siguiente paso debe ser seleccionar la o las transformaciones a utilizar y estudiar los residuales para decidir si el nuevo modelo resulta o no adecuado, y de no hacerlo se utilizan los valores ponderados (Orellana, 2008).

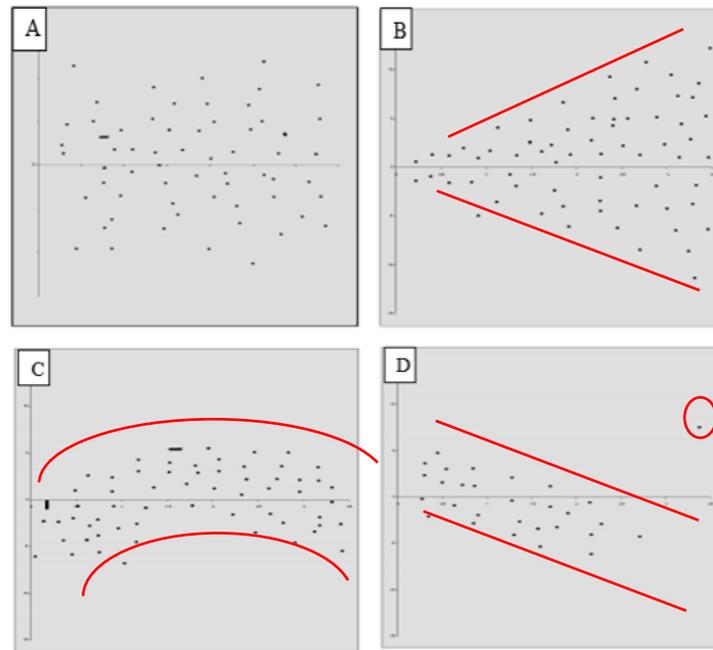


Figura 7: Modelos de distribución de residuos vs valores estimados. (A) Cumple con supuesto de homocedasticidad. (B) y (C) Presentan patrones, no cumplen con supuesto de homocedasticidad. (D) Presenta heterocedasticidad y datos atípicos.

FUENTE: Orellana (2008).

Aunque la heterocedasticidad no genera efectos en las condiciones de sesgo de los estimadores, invalida las pruebas estadísticas de las distribuciones t de Student y F de Fisher (Ramírez, 2006). Además, al presentarse heterocedasticidad aunque el estimador de Mínimos Cuadrados siga siendo lineal e insesgado deja de ser eficiente, es decir, no podríamos saber si ese cálculo incorrecto sobreestima o subestima el verdadero valor.

2.10.5. ANÁLISIS DE REGRESIÓN PONDERADA

Cuando los datos no cumplen con el supuesto de homocedasticidad es decir, presentan problemas de varianza heterogénea con el incremento en la variable independiente como generalmente pasa con la biomasa, el análisis de los datos de validación debe hacerse mediante regresión ponderada (Cunia, 1979; Barrena, 1988).

Se aplica a cada dato un "peso" o "ponderación". El peso se define como inversamente proporcional a la variancia de la variable de los valores por predecir. (Barrena, 1988; Cunia, 1964)

El efecto concreto del peso en forma inversamente proporcional a su variancia es dar mayor contribución a los datos de las variables más precisas, y comparativamente menor peso a las menos precisos (Olivieri, 2002).

Dado que se pueden utilizar tantos factores de ponderación como sean necesarios, se utilizan las variables independientes elevadas a diferentes exponentes, con el fin de encontrar aquella que homogenice las varianzas de los residuos. El factor de ponderación puede cambiar de acuerdo a cómo el volumen (o biomasa) se relaciona con las variables independientes (Barrena, 1988).

Escobar (2015) señala que el criterio para la determinación de los factores de ponderación se realiza en función a las variables independientes de cada ecuación en particular, como pesos de la misma. Este método produce un mayor acercamiento de la curva a los puntos de los árboles pequeños y medianos. Otros investigadores recomiendan el uso de variables transformadas a logaritmos, que conlleva a una disminución del problema de heterocedasticidad (Schumacher & Hall, 1933; Bailey, 1994).

Barrena (1988) propone realizar una nueva regresión de los valores ponderados y realizar el análisis de todos los criterios mencionados anteriormente, es decir, el Coeficiente de determinación, pruebas de significancia estadística Fisher (F), t- Student (t), el CME y el análisis de residuos.

2.10.6. SELECCIÓN DE LA MEJOR ECUACIÓN

a. Cuadrado Medio del Error

El Cuadrado Medio del Error (CME), estima la varianza de los errores residuales de la regresión, el cual se usa para comparar directamente ecuaciones de regresión con variables dependientes iguales (Barrena *et al.*, 1986), que no han sido transformadas con factores de ponderación.

"Error cuadrático medio", se refiere a la media de las desviaciones de las predicciones y los verdaderos valores, al cuadrado, generado por un modelo estimado para "n" elementos muestrales (Steel, 1960). Este es además igual al cuadrado del error típico.

En este sentido, Barrena *et al.* (1986) indican que la mejor ecuación es aquella cuyo valor de la raíz del CME es menor.

b. Índice de Furnival

El Índice de Furnival (IF) permite la comparación de ecuaciones donde la variable dependiente es transformada, mientras refleja la dimensión de los residuales y las infracciones contra las condiciones de los mínimos Cuadrados: linealidad, normalidad y homocedasticidad (Furnival, 1961).

El IF está definido únicamente para un modelo cuyo error residual (ε) tenga una varianza que se puede asumir es constante: $\text{Var}(\varepsilon) = \sigma$. Asimismo, no impone restricción en la forma de la transformación de la variable que une la variable de respuesta Y, modelada a la variable de interés (Picard, 2012). Su interpretación es de carácter inverso, por lo tanto, un valor mayor indica ajuste pobre y viceversa (Furnival, 1961).

El IF permite la comparación de ecuaciones ponderadas con diferentes unidades que estimarán mejor la biomasa o volumen cuando menor valor presenten (Barrena, 1988). En modelos sin transformar o ponderar, el IF es igual al error estándar de la estimación “S” o la raíz del cuadrado medio del error – RCME (Picard, 2012).

Para modelos ponderados se calcula empleando la siguiente ecuación (Barrena *et al.*, 1986).

$$\text{IF} = S \times \text{antilog} \left(\frac{1}{n} \sum \log p \right)$$

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en el bosque llamado “Yanaunca”, cercano al poblado San Ramón de Yanavilca, a una altitud promedio de 3500 msnm. Se encuentra ubicado en el distrito de Los Chankas, en el margen derecho del río Pampas y en la Sub-cuenca del Río Blanco, siendo sus coordenadas geográficas centrales de 13° 26' 07" de latitud Sur y 73° 49' 19" de longitud Oeste (Rojas *et al.*, 2014).

Políticamente, el distrito de Los Chankas se localiza en la Provincia de Chincheros de la Región Apurímac, y tiene una superficie total de 149,34 km². Su capital es Río Blanco y se encuentra comprendido entre las alturas de 1850 y 4215 msnm. (Dirección Nacional Técnica de Demarcación Territorial, 2016).

Asimismo, el distrito de Los Chankas limita en mayor parte con el distrito de Huaccana como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5: Límites del Distrito de los Chankas

Lado	Límite
NORTE NOROESTE	Distrito Luis Carranza, La mar, Ayacucho
OESTE SUROESTE	Distrito de Ocros – Huamanga, Ayacucho Distrito de Concepción, Vilcashuamán, Ayacucho
SUR SURESTE ESTE NORESTE	Distrito de Huaccana, Chincheros, Apurímac

FUENTE: Basado en Dirección Nacional Técnica de demarcación Territorial (2016)

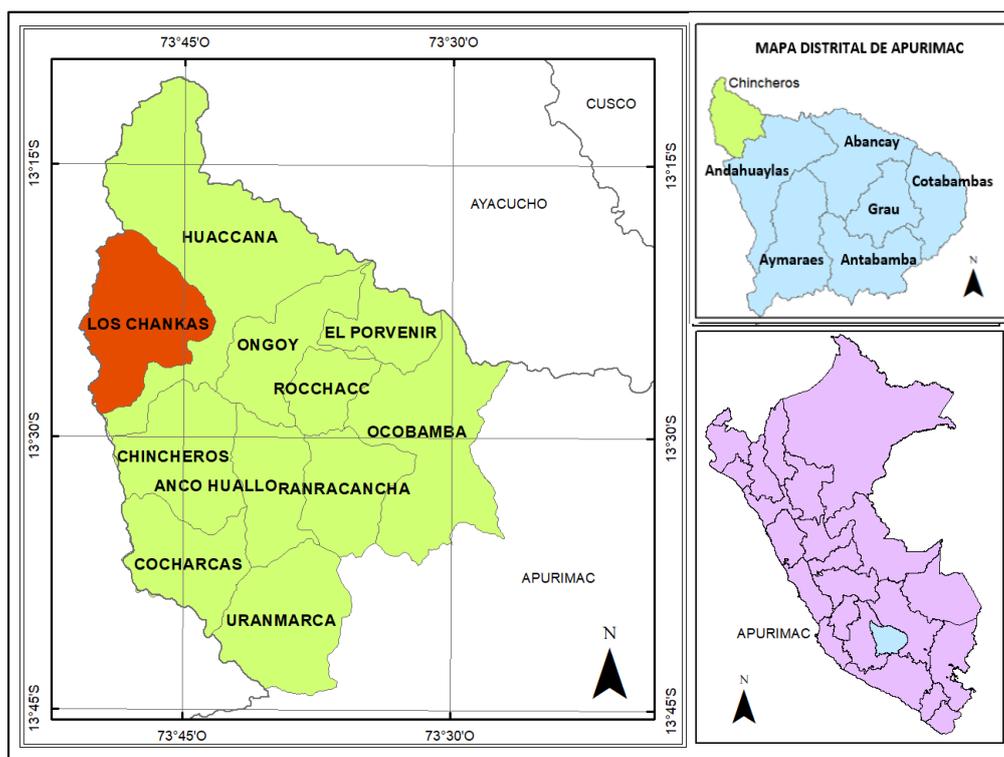


Figura 8: Mapa del distrito de Los Chankas, provincia de Chincheros, departamento de Apurímac.

FUENTE: Dirección Nacional Técnica de Demarcación Territorial (2016).

Cabe resaltar que durante la fase de campo del presente estudio, el distrito ahora denominado Los Chankas pertenecía al distrito de Huaccana, de quien se independizó a fines del año 2016 según la Ley N° 30455 de creación del distrito de Los Chankas en la provincia de Chincheros del departamento de Apurímac (Congreso de la República del Perú, 2016).

Es por ello que varios de los datos son basados en el distrito de Huaccana antes de que se dividiera.

3.2. ACCESSIBILIDAD

Según la Dirección Nacional Técnica de Demarcación Territorial - DNTDT (2016), el acceso al distrito de Los Chankas, se da desde cuatro vías que lo integra a la ruta nacional Cusco – Andahuaylas – Ayacucho – Lima. Algunas se detallan a continuación:

- **Ruta vía Andahuaylas – Chincheros:**

Es una vía afirmada de 87 km desde la ciudad de Andahuaylas hasta Huaccana y posteriormente lleva a Rio Blanco y Los Chankas. Es una de las principales vías de acceso al distrito con tránsito diario de vehículos de pasajeros y de carga. Conecta los mercados de Andahuaylas, Abancay y Cusco.

- **Ruta vía Ayacucho – Río Blanco**

Vía de reciente construcción que tiene una longitud de 51 km, se encuentra a nivel de trocha carrozable que comunica con Ayacucho y Lima. A diferencia de las otras vías, esta recorre la mayor parte del territorio distrital y contiene una potencialidad para el comercio local e interregional.

3.3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.3.1. CLIMA

El distrito de Los Chankas se caracteriza por presentar una pronunciada gradiente altitudinal, generando diferentes condiciones climáticas que ha provocado que las zonas ecológicas en la Cordillera se dividan por pisos altitudinales, dando origen a una riqueza biológica poco conocida, adaptada a sus diferentes hábitats (DNTDT, 2016).

Las temperaturas máximas oscilan entre 22 °C y 25 °C y las mínimas entre 7 °C y 4 °C. Durante el invierno (Mayo a Agosto) los días son calurosos al sol y templados a la sombra, con temperaturas superiores a 20°C; pero las noches son frías llegando a los 4°C (Rojas *et al.*, 2014). En la Figura 9 se observa el diagrama de temperatura y precipitación, donde las columnas corresponden a la medida de precipitación mensual en mm (eje derecho) y la línea ondulante a la temperatura promedio (eje izquierdo).

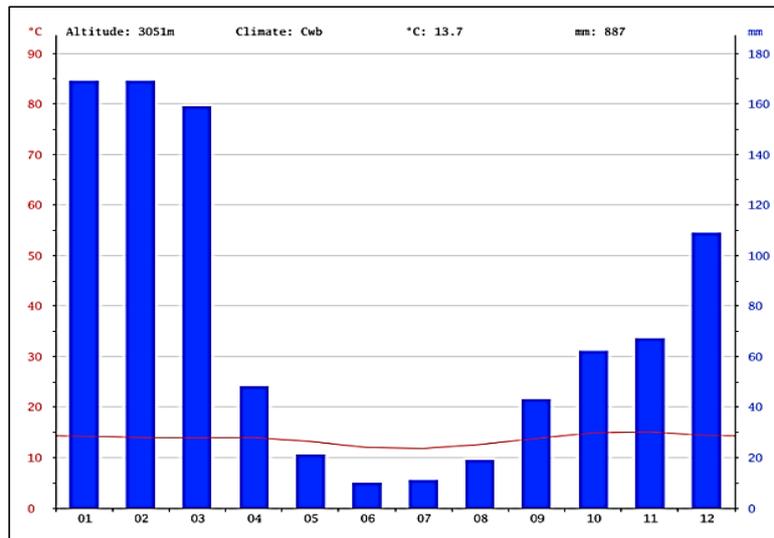


Figura 9: Diagrama de temperatura y precipitación mensual del distrito de Huacanna (Actualmente distritos de Huaccana y de Los Chankas).

FUENTE: Climate – Data (2017).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Temperatura media (°C)	14,2	14	13,9	14	13,2	12	11,8	12,6	13,8	14,9	15,1	14,4
Temperatura min. (°C)	7	7,1	7	6,3	4,5	2,7	2,6	3,3	5,3	6,3	6,5	6,8
Temperatura máx. (°C)	21,4	21	20,8	21,8	21,9	21,3	21,1	22	22,3	23,6	23,8	22,1
Precipitación (mm)	169	169	159	48	21	10	11	19	43	62	67	109

Figura 10: Cuadro resumen de Temperatura y precipitación anual en Huaccana (Actualmente distritos de Huaccana y de Los Chankas).

FUENTE: Climate – Data (2017).

3.3.2. ECOLOGÍA

Según Rojas *et al.* (2014), en el Distrito de Los Chankas se pueden encontrar principalmente ocho zonas vida, según el sistema de clasificación de Holdrige:

- Bosque muy húmedo Montano Subtropical (bmh-MBS) (partes altas, nacientes de ríos).
- Bosque húmedo Subtropical (bh-S) (parte media de microcuencas)
- Bosque seco Subtropical (bs-S) (parte baja de microcuencas, franja paralela al río Apurímac.
- Estepa espinosa Montano bajo Tropical (ee-MBS)
- Bosque húmedo Montano Bajo Subtropical (bh-MBS)

- Bosque seco -Montano Bajo tropical (bs-MBT)
- Bosque húmedo - Montano Tropical (bh-MT)
- Páramo Muy húmedo Subalpino Tropical (pmh-SAT)

Asimismo, la zona de estudio del bosque Yanaunca, se encuentra ubicada dentro de la zona de vida Bosque húmedo Montano Bajo Subtropical (Gobierno Regional de Apurímac, 2014).

3.3.3. FLORA Y FAUNA

La flora y fauna en el distrito de Los Chankas es muy diversa por la complejidad e interacción entre la zona alto andina y los valles secos (Rojas *et al.*, 2014).

Entre las principales asociaciones de bosques se pueden encontrar especies como "chachacomo" (*Escallonia resinosa*), matorrales de "chilca" (*Baccharis latifolia*), matorrales espinosos de "roque" (*Colletia spinosissima*) y "Ilaulli" (*Barnadesia horrida*). "pisonay" (*Erithryna falcata*), "huaranhuay" (*Tecoma sambucifolia*), "aliso" (*Alnus jorullensis*), Lloqe (*Kakaneckia lanceolata*). Cabe resaltar la gran presencia de especies exóticas como "pino" (*Pinus* sp.) y especialmente el eucalipto (*Eucalyptus globulus*) (Dirección Nacional Técnica de Demarcación Territorial, 2016; Rojas *et al.*, 2014).

Asimismo, destacando por su belleza, las orquídeas de diversas especies entre ellas: *Bletia catenulata*, *Odontoglossum mystacinum*, *Maxillaria rotundilabia*.

Según la Dirección Nacional Técnica de Demarcación Territorial (2016), entre la fauna importante que podemos mencionar presentes en el distrito de Los Chankas se tiene al Oso andino u oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*), el Puma (*Puma concolor*), el Zorro andino, zorro colorado o atoq (*Lycalopex culpaeus*), el Zorrino o ñas (*Conepatus chinga*), Tigrillo u ocelote (*Leopardus pardalis*). Entre las especies en peligro de extinción se encuentran el Cóndor (*Vultur gryphus*), los Aguiluchos Wamancha, Huaman (*Buteo polyosoma*), los Loros o Cotorra mitrada (*Aratinga mitrata*), Colibrí de vientre blanco (*Amazilia chionogaster*), el Calzadito de cola Larga (*Eriocnemis lucianis*), al Inca acollarado (*Coeligena torquata*), entre otras especies. Entre las aves más conocidas tenemos el Zorzal grande, yana chiwako, hatun chihuaco, huayco chiwuaqu (*Turdus fuscater*), al ave de los ríos la Garza grande (*Ardea alba*), Lechuza de Koepcke del Pampas (*Megascops koepckeae*), entre los ofidios tenemos a la Culebra del Apurímac (*Drymoluber apurimacensis*), poco común y endémica, la Culebra verde (*Chironius* sp.), las lagartijas del Apurímac (*Stenocercus apurimac*), el Llaulicanchu o lagartija de casa (*Proctoporus* sp.).

3.3.4. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

“El Distrito de Los Chankas presenta una topografía accidentada; un relieve muy variado, con quebradas y profundos valles, seguidos de cerros de suave declive e interrumpidos por pequeñas lomas. Los cerros son empinados, con presencia de cárcavas en su superficie y desigualdades en su relieve, lo que dificulta el aprovechamiento de sus escasas tierras para el cultivo” (Dirección Nacional Técnica de Demarcación Territorial, 2016).

Tabla 6: Características fisiográficas del distrito de Los Chankas.

Relieve	Fisiografía
Fondo de valle – llanura aluvial	Acumulación fluvial reciente, que forma planicie de 0-4 por ciento de pendiente
Vertiente montañosa y colina empinada a escarpada	Elevación de 0-1000 metros de altura y con una pendiente predominante mayor a 50 por ciento.
Vertiente montañosa moderadamente empinada	Elevaciones de 300-1000 metros y con pendientes predominantes entre 25-50 por ciento.
Vertiente montañosa empinada a escarpada	Elevación de 300-1000 metros y con pendientes mayores a 50 por ciento con numerosos escarpes.

FUENTE: Dirección Nacional Técnica de Demarcación Territorial (2016)

Asimismo, cuenta con áreas medianamente uniformes, que define en muchos casos la principal actividad de los habitantes del distrito, siendo el uso de suelos predominantemente agrícolas y ganadero (DNTDT, 2016).

La DNTDT (2016) indica que, según el uso del suelo, se pueden mencionar principalmente:

- Tierras agrícolas de secano: Tierras con fines de uso agrícola con cultivos dependientes de las lluvias estacionales. Predominando cultivos como: maíz, papa, habas, etc.
- Tierras agrícolas permanentes: Conformada por reducidas extensiones de cultivo permanente, dedicadas a variedades de frutas como: chirimoya, palta, manzana, naranja, mango.
- Pastos naturales: Ubicadas en las zonas altas del distrito, constituye un 15 por ciento del total.
- Tierras de protección y otros usos: conformada por nevados, lagunas, tierras eriazas, bosques, terrenos ribereños y centros poblados.

Tabla 7: Distribución de tierras según su uso.

Denominación	Extensión (km²)	Porcentaje (%)
Tierra de labranza	80,44	19,2
Cultivos permanentes	3,35	0,8
Pastos naturales	62,84	15
Tierras de protección	272,32	65

FUENTE: Dirección Nacional Técnica de demarcación Territorial (2016).

3.4. MATERIALES Y EQUIPOS

3.4.1. MATERIALES

- Bolsas plásticas tipo “Ziploc”
- Etiquetas adhesivas
- Sogas o soguillas de 1’ de diámetro.
- Libreta de campo
- Lapiceros
- Marcadores
- Plumones indelebles
- Rollo de plástico para forro
- 20 costales de arpillera
- Costales de plástico
- 01 machete
- 01 Tijera de podar
- Ganchos de metal para balanza
- 2 rollos de cintas de agua
- Punzón
- 04 limas para cadena de motosierra.
- 10 galones de combustible y aceite

3.4.2. EQUIPOS

- Equipo de posicionamiento global GPS GARMIN MAP 60
- 01 motosierra HUSQVARNA 395Xp

- 01 Horno de secado Memmert TV60u
- Computadora Core i5
- 01 Calculadora científica Casio fx-350TL
- 01 Campana desecadora de vidrio

3.4.3. INSTRUMENTOS

- 01 Hipsómetro SUUNTO Modelo PM-5
- 01 Brújula SUUNTO Modelo KB-14/360R
- 01 Cinta diamétrica de tela – 160 cm de diámetro
- 01 Cinta métrica de 30 m
- 01 Balanza digital colgante Brimali Ind. de 150 kg. Modelo BR15050
- 01 Balanza digital colgante Brimali Ind. de 40 kg. Modelo: BRYK4020
- 01 Balanza digital Henkel de 10 kg de 5 g de precisión
- 01 Soporte Universal de metal
- Balanza digital Boeco Germany de 0,1 g de precisión.

3.4.4. PROGRAMAS UTILIZADOS

- Software Microsoft Excel – Herramienta “Análisis de Datos”
- ArcGis 10.2

3.5. METODOLOGÍA

3.5.1. RECONOCIMIENTO DE LA ZONA

Previo al primer viaje de reconocimiento, se realizaron las coordinaciones previas con el Sr. Luis Vargas – Representante de la ONG que financió la investigación, quien realizó el contacto con el alcalde de Luis Carranza a donde se viajó inicialmente y con el alcalde de Huaccana, donde se decidió realizar el estudio debido a la mayor disposición de las autoridades.

Durante el primer viaje a Huaccana, se realizaron las coordinaciones con la Municipalidad Distrital de Huaccana, para informarles de la metodología a seguirse y organizar el acompañamiento para identificar la zona de trabajo, donde posteriormente se realizó la evaluación y tumbado de los individuos de la especie *Myrcianthes oreophila*. Dicha actividad permitió determinar la logística para el traslado de los equipos necesarios y de las muestras

obtenidas. En la zona, se recorrió la mayor área posible para seleccionar los árboles que fueron parte del estudio.

3.5.2. COORDINACIONES LOCALES

Posteriormente a la visita a campo, y previa autorización de las autoridades locales, se llevó a cabo una asamblea general para informar sobre para la ejecución de la investigación, solicitando apoyo participativo de la comunidad de los centros poblados de Curampa y San Ramón de Yanavilca. La respuesta de la comunidad y la junta directiva fue positiva, considerando que por ambos lados debíamos cumplir con los acuerdos expuestos en la reunión.

Para ello, en Lima se realizaron los trámites necesarios en el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR, solicitando la autorización respectiva para la “Realización de una investigación científica con colecta de flora silvestre fuera de Áreas Naturales Protegidas sin acceso a recursos genéticos”. Una vez obtenido el permiso y al haber realizado las coordinaciones respectivas y con los equipos facilitados por el laboratorio de Teledetección Aplicada y Sistemas de Información Geográfica de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM, se viajó nuevamente a Huaccana para iniciar con la Fase de Campo.

3.5.3. SELECCIÓN DE INDIVIDUOS

Los modelos de ecuaciones de biomasa deben ser construidos usando como mínimo una muestra representativa de 30 árboles, cumpliendo el supuesto de distribución normal de la población por el Teorema del límite central (Andrade & Segura, 2008).

Por ello, para minimizar posibles sesgos se agregó el 10 por ciento del total de las muestras necesarias, tomando tres individuos más y seleccionando un total de 33 árboles de la especie *Myrcianthes oreophila*.

La selección de individuos fue realizada al azar, pero teniendo en consideración que tuvieran un DAP mayor a 10 cm. Asimismo, se consideró árboles de todas las clases diamétricas y que se encontraran distribuidos en la mayor área posible de acuerdo a la accesibilidad de la zona y la dificultad del tumbado.

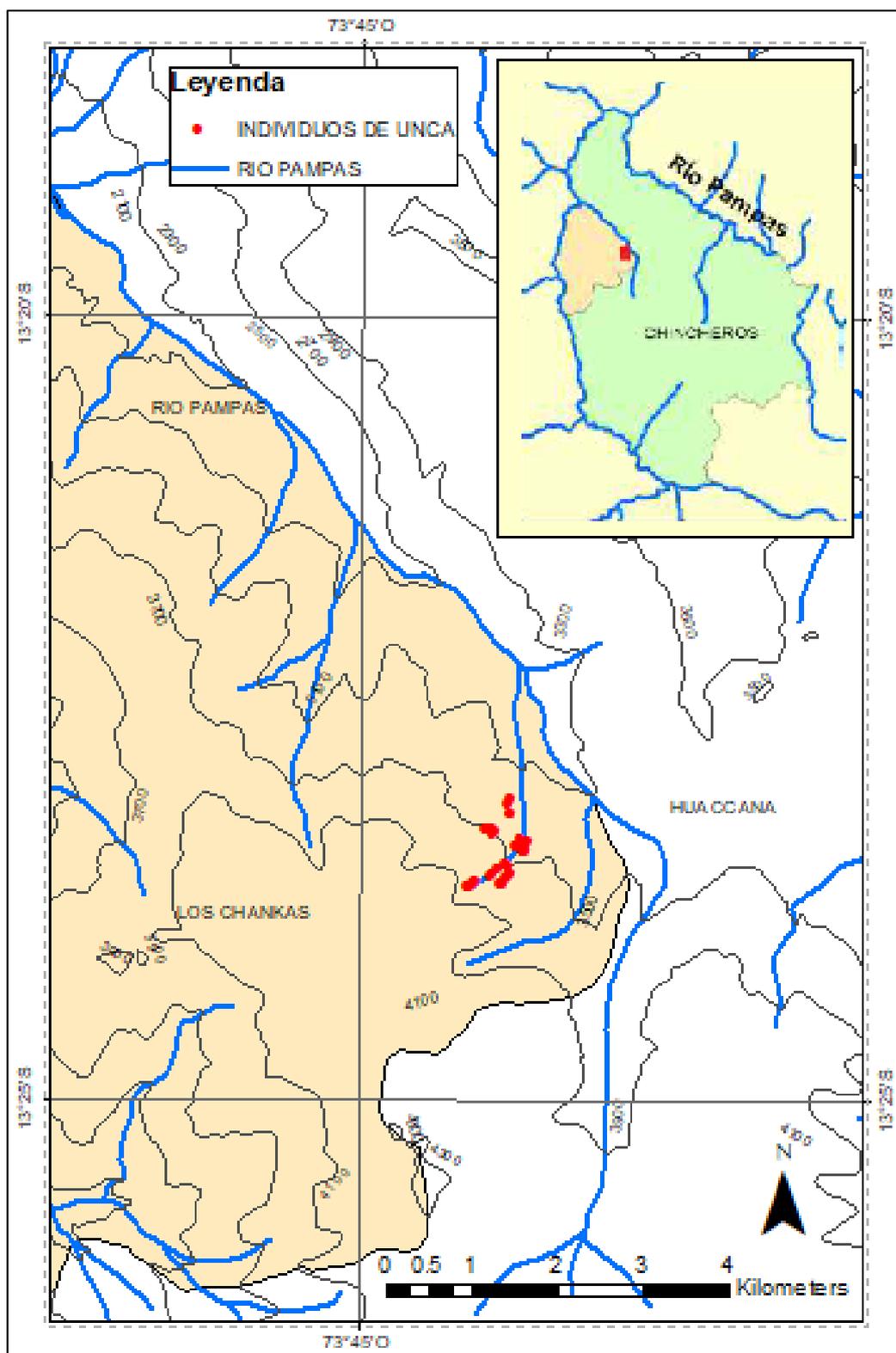


Figura 11: Mapa de ubicación de los 33 individuos de *Myrcianthes oreophila* en el bosque Yanaunca, provincia de Chincheros, departamento de Apurímac.

FUENTE: Elaboración propia (2016)

3.5.4. TRABAJO EN CAMPO

La metodología del trabajo en campo se realizó haciendo adaptaciones con base en varios estudios de estimación de biomasa en diferentes especies: Valverde (2017), Rueda (2014), Lam (2011), Camones (2011), Simbaña (2011), Llanos (2010), Andrade & Segura (2008) y Schlegel *et al.* (2000). La metodología realizada fue la siguiente:

a. MARCADO DE ÁRBOLES

Una vez seleccionados los árboles se procedió a conseguir la coordenada de cada uno de ellos con el receptor GPS. Posteriormente, se realizó la codificación y marcado de cada individuo con cintas y rafia de colores, colocando la inicial del nombre de la especie “Unca” y el número de individuo de forma correlativa desde 01 hasta el 33 (p.ej. U-01).

Durante el marcado, también se realizó la limpieza del área alrededor del individuo seleccionado, lo que facilitó el trabajo de corte y mediciones respectivas.

b. MEDICIÓN DE PARÁMETROS

La evaluación comprendió la medición de: los diámetros a la altura del pecho (DAP), la altura del fuste y la altura total de los 33 árboles en pie seleccionados previamente.

El fuste de la mayoría de individuos presentaba sección irregular, por lo que el diámetro se midió con cinta diamétrica, realizando dos mediciones de las que posteriormente se obtuvo el promedio (Masías, 2017). La medición se realizó a una altura de 1,30 m sobre el suelo y en los casos en los que presentaba algún tipo de bifurcación, se tomó la medición cinco centímetros debajo de esta.

Dado que la zona presentaba pendientes elevadas, varios de los árboles también presentaban cierta inclinación, por lo que se tuvo en cuenta que las mediciones de altura realizadas debían ser paralelas al fuste, desde una posición cuesta arriba (Masías, 2017).

La altura total y de fuste se realizó con el hipsómetro Suunto, instrumento de uso fácil, pero que requiere distancias mínimas para proceder con la medición del árbol. Dada la dificultad de movilización y acceso generada por las pendientes en la zona de estudio, se realizaron las mediciones de alturas utilizando una distancia de 10 metros.

Posteriormente, se procedió a medir el diámetro de la copa. Para ello, se realizaron proyecciones ortogonales y perpendiculares entre sí, midiendo esta distancia en el suelo con cinta métrica, tal como se indica en la Figura 12. Se obtuvo dos datos por individuo, de los cuales se generó el diámetro de copa promedio a través de un promedio aritmético.

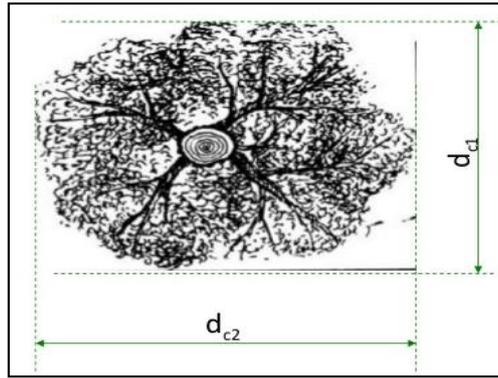


Figura 12: Mediciones del diámetro de copa.

FUENTE: Juárez (2014).

c. TUMBADO Y TROZADO DE ÁRBOLES

Se cortaron los árboles seleccionados lo más cerca posible al suelo, haciendo uso de una motosierra Stihl. Se procedió a la medición de las secciones del árbol tumbado, es decir, de la longitud del fuste, del tocón y la longitud total, mediante el uso de una cinta métrica.

Se realizó la separación de los componentes (fuste, ramas y hojas). La medición del fuste se realizó según la Norma ISO 4471: “La madera - Muestreo prueba en árboles y troncos para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de madera en soportes homogéneos” (International Organization for Standardization, 1982).

Como se observa en la Figura 13, el fuste se dividió en tres partes o secciones iguales (indicado con la línea roja) y se realizó la medición del largo de la sección y del diámetro de los dos extremos de cada una de las secciones ($d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$). La suma de sus longitudes dará como resultado la longitud total, que es un dato más real que permite realizar cálculos de volumen con mayor exactitud y sin subestimaciones (Masías, 2017).

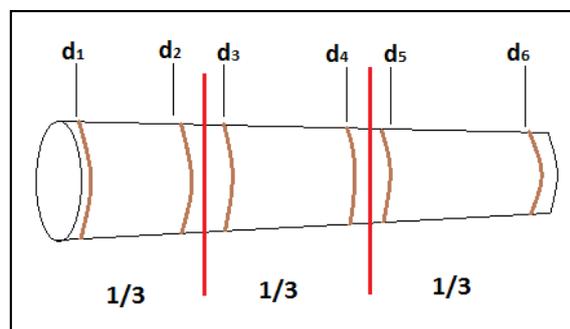


Figura 13: Mediciones del diámetro en cada sección del fuste.

FUENTE: Basado en Samaniego (2009).

d. PESADO DEL FUSTE

Para el pesado del fuste se utilizó una balanza romana de 150 kg y un trípode construido a base de troncos obtenidos de la zona de estudio y sujetos con sogas para otorgarle una mayor estabilidad para el soporte de la carga y descarga.

El trípode fue fijado en un área con poca pendiente para facilitar el trabajo y haciendo uso de ganchos de metal y sogas para la sujeción de la balanza y de las secciones del fuste, respectivamente.

En aquellos casos en que las secciones tenían dimensiones grandes, se procedió a seccionar en partes más pequeñas y adecuadas de acuerdo a la capacidad de la balanza y de soporte.

e. CLASIFICACIÓN Y PESADO DE RAMAS

Se procedió a clasificar las ramas en dos grupos: ramas grandes y medianas (diámetro mayor a 3 cm) y ramas pequeñas (diámetro menor o igual a 3 cm). (Camones, 2011)

Las ramas grandes y medianas se agruparon y se pesaron mediante el uso de costales de arpillera y con la balanza romana de 40 kg. Las ramas pequeñas se pesaron junto con las hojas y se consideraron como hojarasca.

f. PESADO DE HOJARASCA

Se agruparon todas las hojas frescas del árbol y las ramas pequeñas (diámetro menor a 3 cm) sobre costales de plástico. Posteriormente, se pesaron mediante el uso de una balanza digital de 40 kg de capacidad y 5 g de precisión.

g. OBTENCIÓN DE RODAJAS DEL FUSTE

De la parte media de cada una de las tres secciones del fuste cortado, se extrajo una rodaja de aproximadamente 8 cm de espesor (Figura 15). De cada rodaja se determinó el diámetro (en cm), espesor (en cm) y se pesaron mediante el uso de la balanza digital de capacidad de 10 kg.

Asimismo, como se observa en la Figura 14, cada rodaja fue marcada y etiquetada utilizando un esquema que permitió controlar y organizar en función a:

- Parte del árbol:

- F: Fuste
- R: Rama

- Sección origen de la muestra.
 - A: Parte superior o alta del fuste.
 - M: Parte media del fuste.
 - B: Parte basal o baja del fuste.
- Número de árbol evaluado.
 - Desde el 01 hasta el 33.

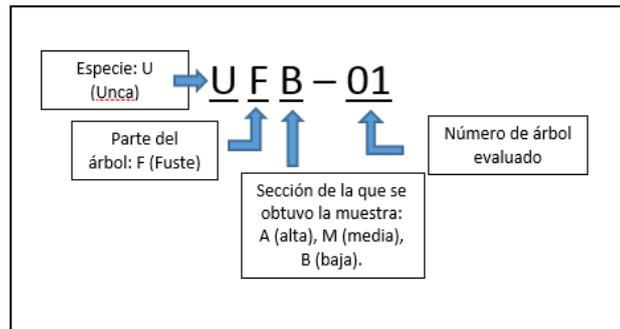


Figura 14. Modelo de codificación de cada muestra (rodaja).

FUENTE: Elaboración propia.

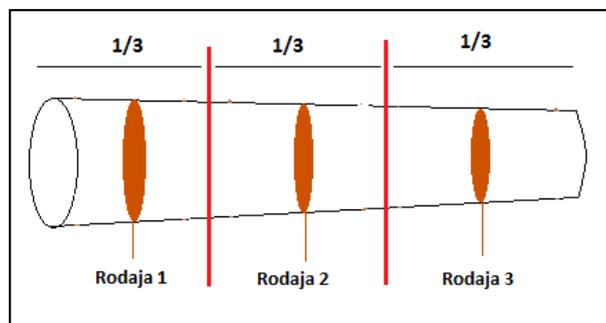


Figura 15. Ubicación de rodajas extraídas de cada sección del fuste.

FUENTE: Basado en Samaniego (2009).

h. OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE RAMAS

Se seleccionó una de las ramas de cada individuo que represente al diámetro promedio, de la cual se extrajo una rodaja de aproximadamente 8 cm de espesor. Dichas rodajas de rama también fueron pesadas y codificadas según el número de árbol, además de proceder a la toma de sus dimensiones (diámetro y espesor).

i. OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE HOJARASCA

Posterior al pesado de hojarasca, se colectaron muestras de aproximadamente 200 gramos, según la metodología de Samaniego (2009). Las muestras fueron colocadas en bolsas herméticas de tipo “ziploc”, pesadas en la balanza de 5 g de precisión y codificadas según el número de árbol respectivamente.

j. ALMACENAMIENTO Y TRASLADO

Las muestras obtenidas en campo se mantuvieron almacenadas para su secado al aire y protegidas de las lluvias en un área de oficina designada por la Municipalidad de Huaccana. Una vez culminado el trabajo en campo, las muestras fueron trasladadas al laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM, vía encomienda, mediante una empresa de transporte interprovincial.

El material restante de cada árbol se dejó cerca al área de pesado, para que la comunidad pueda hacer uso de este material, según lo consideraran conveniente. Dicha actividad se realizó en presencia del presidente de la comunidad de San Ramón de Yanavilca, el Sr. Raúl Torres Richarte, acordado de forma verbal en la Asamblea General.

3.5.5. EN LABORATORIO Y GABINETE

La metodología descrita a continuación se basa en las utilizadas por Schlegel (2000), Lam (2011), Samaniego (2009) y Valverde (2017).

a. OBTENCIÓN DE PROBETAS

En el laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional Agraria La Molina, se procedió a obtener las probetas pertenecientes a las tres secciones del fuste y de las ramas.

Cada rodaja obtenida del fuste y rama se dividió en 6 secciones iguales, las cuales fueron codificadas tal como lo indica la Figura 14, según:

- Número de individuo: Desde el 01 al 33.
- Sección origen de la muestra: Las cuales fueron codificadas de la siguiente manera:

A: Parte superior o alta del fuste. M: Parte media del fuste. B: Parte basal o baja del fuste

- Número de probeta: Desde 1 al 6.

Para la determinación de densidad y contenido de humedad se utilizaron las pruebas estándar de la norma ASTM D1036: “Pruebas estándar de métodos de estática de los postes de madera”.

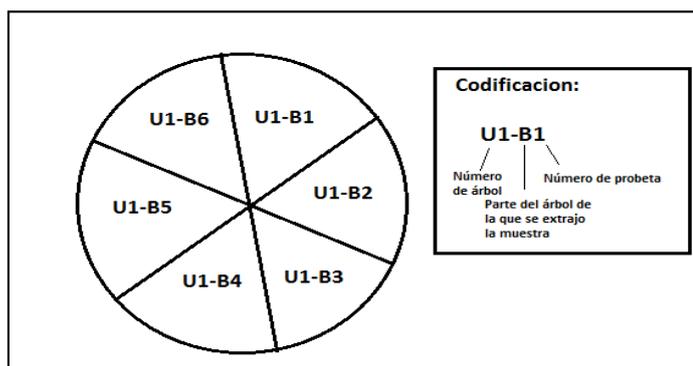


Figura 16. Modelo del seccionado y codificación de las probetas.

b. SATURACIÓN DE PROBETAS Y DETERMINACIÓN DE VOLUMEN

Las probetas fueron codificadas con lápiz de cera y colocadas en un recipiente con agua durante aproximadamente 12 días hasta que estuvieron saturadas (peso constante). Una vez saturadas, se utilizó la metodología de desplazamiento de agua basada en el Principio de Arquímedes para calcular el volumen, método que permite obtener una medición sencilla y fiable cuando las muestras son de forma irregular (Chave, 2006).

Para ello, se colocó un recipiente con 3 litros de agua (capacidad para 5 litros), sobre una balanza digital de 0,1 g de precisión y se introdujo cada probeta de madera sin que toque las paredes ni el fondo del recipiente haciendo uso de un punzón y soporte universal, de este modo se obtuvo el peso del agua desplazada, que corresponde al volumen de la muestra, considerando la densidad del agua como la unidad (Valencia & Vargas, 1997).

c. SECADO Y DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS PROBETAS

En el horno de secado del laboratorio de Tecnología de la Madera de la UNALM se procedió a colocar las probetas obtenidas del fuste y ramas para su secado durante aproximadamente 96 horas a $103\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2$, hasta que el peso de cada una de ellas se mantuvo constante (peso seco), comprobándolo a través de su pesado cada 4 horas durante el último día de secado. Las probetas fueron retiradas del horno e inmediatamente colocadas en el desecador y posteriormente fueron pesadas en la balanza de 0,1 g de precisión.

Con el peso seco obtenido se determinó el contenido de humedad (%CH) de cada probeta utilizando la siguiente fórmula recomendada en la Norma ASTM D1036-99 (Asociación Americana de Ensayo de Materiales, 2005):

$$\%CH = (Ph(g) - Ps(g)) / ps(g) \times 100 \quad \dots \text{(Ec. 1.1)}$$

Donde:

Ph(g) : Peso húmedo o peso inicial de cada probeta (en gramos).

Ps(g) : Peso seco o peso constante final de cada probeta (en gramos).

Al haberse obtenido seis probetas por muestra, el contenido de humedad promedio se realizó en base a un promedio aritmético.

d. DETERMINACIÓN DE DENSIDAD BÁSICA

Una vez obtenido como resultado los pesos secos de las probetas, se determinó la densidad básica, haciendo uso de la siguiente fórmula según la Norma ASTM D1036 (Asociación Americana de Ensayo de Materiales, 2005):

$$Db = Ms (g) / Vs (cm^3) \quad \dots \text{(Ec. 1.2)}$$

Db: Densidad básica (g/cm³)

Ms: Peso anhidro de una muestra en gramos

Vs: Volumen verde o saturado en centímetros cúbicos.

Una vez determinada la densidad básica de cada probeta, se procedió a determinar el promedio aritmético simple de las seis probetas obtenidas por rodaja, según la Norma ASTM D1036 – 99 (Asociación Americana de Ensayo de Materiales, 2005):

$$Db = (Db_1 + Db_2 + Db_3 + Db_4 + Db_5 + Db_6) / 6 \quad \dots \text{(Ec. 1.3)}$$

Donde:

Db: Densidad básica promedio de la muestra

Db₁, Db₂, Db₃, Db₄, Db₅, Db₆: Densidad básica de las probetas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 pertenecientes a una muestra.

e. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS MUESTRAS DE HOJARASCA

Al igual que las probetas, la hojarasca fue colocada en el horno de secado, debidamente embolsada en hojas de papel, el cual se taró y se procedió a secar durante aproximadamente 36 horas a $103\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2$ hasta que el peso se mantuvo constante (peso seco) comprobándolo a través de su pesado cada 2 horas durante las últimas 6 horas.

La hojarasca, con todo y bolsas de papel fueron pesadas en la balanza de 0,1 g de precisión. Con el peso seco obtenido se determinó el contenido de humedad (%CH) de la hojarasca de cada individuo utilizando la Ecuación 1.1.

f. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS COMPONENTES DEL ÁRBOL (FUSTE, RAMAS Y HOJARASCA)

Para determinar el contenido de humedad para el fuste, se contó con tres datos (Parte superior, media y baja), por lo que se utilizó la siguiente fórmula aritmética (Lam, 2011):

$$\text{CHc}(\%) = \text{Ch}_a(\%) + \text{Ch}_m(\%) + \text{Ch}_b(\%) / 3 \quad \dots \text{(Ec. 1.4)}$$

Donde:

CH_a : Contenido de humedad de la sección alta del fuste (en porcentaje)

CH_m : Contenido de humedad de la sección media del fuste (en porcentaje)

CH_b : Contenido de humedad de la sección baja del fuste (en porcentaje)

g. DETERMINACIÓN DEL PESO SECO O BIOMASA SECA TOTAL DE CADA COMPONENTE

Para determinar el peso seco total de cada componente (Fuste, ramas y hojarasca) se procedió a utilizar la siguiente fórmula según Simbaña (2011):

$$\text{Bs (kg)} = \text{PHt} \times (1 + \text{CHc}(\%)) \dots \text{(Ec. 1.5)}$$

Donde:

Bs= Biomasa seca total del componente en kilogramos

PHt = Peso húmedo total del componente obtenido en campo (en kg)

CHc (%) = Porcentaje del contenido de humedad del componente.

Asimismo, para calcular la biomasa del tocón, se usó la Ecuación 1.2.

Al sumar la biomasa seca (BS) de todos los componentes se obtuvo la biomasa seca total del individuo en kilogramos (Simbaña, 2011):

$$BT = BF + BC + BH \quad \dots(\text{Ec. 1.6})$$

Donde:

BT= Biomasa aérea total seca del árbol (kg)

BF = Biomasa seca del fuste (kg)

BR= Biomasa seca de las ramas (kg)

BH= Biomasa seca de la hojarasca (kg)

h. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CADA INDIVIDUO

Haciendo uso de los datos obtenidos en campo, se procedió a calcular el volumen de cada una de las tres secciones del fuste y del tocón aplicando la fórmula de Smalian, dado que para calcular el volumen de individuos con perfiles cilíndricos y de longitudes cortas esta fórmula es una de las más exactas (Cancino, 2006; Dieguez *et al.*, 2003):

$$V = \frac{\pi}{4} \frac{(DM+Dm)}{2} * L \quad \dots(\text{Ec. 1.7})$$

Donde:

V: Volumen (m³)

DM: Diámetro mayor (m)

Dm: Diámetro menor (m)

L: Longitud (m)

Posteriormente se sumaron cada uno de los valores obtenidos. Para la determinación del volumen de las ramas se usó la densidad obtenida de las probetas de dicha parte, utilizando la Ecuación 1.2.

Para la determinación del volumen total del individuo se procedió a sumar cada uno de los volúmenes de las secciones del fuste y las ramas que correspondían al individuo.

i. ANÁLISIS DE VARIABLES

Una vez obtenidos y ordenados todos los datos necesarios, se procedió a identificar y analizar las relaciones entre la variable dependiente (Biomasa aérea y Volumen) y las variables independientes (DAP, altura total. Altura de fuste y diámetro de copa) para detectar posibles

errores o datos “outlier” que pudieran sesgar el análisis de la regresión. Para ello se realizaron gráficos de los pares de datos y análisis visual entre las variables dependientes e independientes, con el objetivo de homogenizar la distribución de los datos (Guillen, 2014).

j. ELABORACIÓN DE LA ECUACIÓN DE BIOMASA Y VOLUMEN

Se siguió el procedimiento recomendado por Barrena *et al.* (1986) y con base al análisis estadístico de Chatterjee & Price (1999).

k. SELECCIÓN DE MODELOS

Dado que no se encontraron modelos de ecuaciones para especies del mismo género, se usaron en total 122 modelos, entre ellos los 8 más conocidos y utilizados, que involucran las variables: DAP, Ht, Hf y Dc (Berkhout, Kopezki-Gehrhardt, Dissescu-Meyer, Spurr, Hohenadl-Krenn, Stoate, Australiana, Meyer).

Tabla 8: Modelos de ecuaciones originales para estimación de biomasa y volumen

Nº	Modelos originales	Nombre del modelo
1	$Y = b_0 + b_1 \text{DAP}$	Berkhout
2	$Y = b_0 + b_1 \text{DAP}^{1,5}$	
3	$Y = b_0 + b_1 \text{DAP}^2$	Kopezki-Gehrhardt
4	$Y = b_0 + b_1 \text{DAP}^{2,5}$	
5	$Y = b_0 + b_1 \text{DAP}^3$	
6	$Y = b_0 + b_1 \text{Ln}(\text{DAP})$	Dissescu-Meyer
7	$Y = b_0 + b_1 \text{Lg}(\text{DAP})$	
8	$Y = b_0 \text{DAP} + b_1 \text{DAP}^2$	
9	$Y = b_0 + b_1 \text{Ht}$	
10	$Y = b_0 + b_1 \text{Ht}^2$	
11	$Y = b_0 + b_1 \text{Ht}^3$	
12	$Y = b_0 + b_1 \text{Ln}(\text{Ht})$	

Continuación

Nº	Modelos originales	Nombre del modelo
13	$Y = b_0 + b_1 Lg(Ht)$	
14	$Y = b_0 + b_1 Hf$	
15	$Y = b_0 + b_1 Hf^2$	
16	$Y = b_0 + b_1 Ln(Hf)$	
17	$Y = b_0 + b_1 Dc$	
18	$Y = b_0 + b_1 Dc^2$	
19	$Y = b_0 + b_1 Dc^3$	
20	$Y = b_0 + b_1 Ln(Dc)$	
21	$Y = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP$	
22	$Y = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP^{1.5}$	
23	$Y = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP^2$	
24	$Y = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP^3$	
25	$Y = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP$	
26	$Y = b_0 + b_1 Ht^3 + b_2 DAP$	
27	$Y = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP^2$	
28	$Y = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP^{1.5}$	
29	$Y = b_0 + b_1 Ht^3 + b_2 DAP^3$	
30	$Y = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP^3$	
31	$Y = b_0 + b_1 DAPHt$	
32	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAPHt$	
33	$Y = b_0 + b_1 DAP^{1.5} + b_2 DAPHt$	
34	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAPHt$	
35	$Y = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAPHt$	
36	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 Ht$	Spurr 1952
37	$Y = b_0 + b_1 DAPHt^2$	
38	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 Ht^2$	
39	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 Ht$	
40	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^{1.5} Ht$	
41	$Y = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP^2 Ht$	
42	$Y = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAPHt^2$	
43	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAP^2 Ht$	
44	$Y = b_0 + b_1 DAPHt + b_2 DAP^2 Ht$	
45	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAPHt$	
46	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 Ht$	
47	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2$	Hohenadl-Krenn
48	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht + b_3 DAP^2 Ht$	Stoate

Continuación

Nº	Modelos originales	Nombre del modelo
49	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 + b_3 DAP^2 Ht$	
50	$Y = b_0 + b_1 DAP^3 + b_2 Ht + b_3 DAP^2 Ht$	
51	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^2 + b_3 DAP^2 Ht$	
52	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht + b_3 DAP Ht^2$	
53	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 + b_3 DAP Ht$	
54	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht + b_3 DAP Ht$	
55	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^2 + b_3 DAP Ht$	
56	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^3 + b_3 DAP Ht$	
57	$Y = b_0 + b_1 Ht^3 + b_2 DAP Ht$	
58	$Y = b_0 + b_1 DAP^3 + b_2 DAP Ht$	
59	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht + b_3 DAP Ht$	
60	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht + b_3 DAP Ht^2$	
61	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht + b_3 DAP^2 Ht$	
62	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^2 + b_3 DAP^2 Ht^2$	
63	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAP Ht$	
64	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 + b_3 DAP^2 Ht$	
65	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^{1.5} + b_3 DAP^2 Ht$	
66	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAP Ht^2$	
67	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 + b_3 DAP Ht^2$	
68	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAP^2 Ht$	
69	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 + b_3 DAP Ht$	
70	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP Ht + b_3 DAP^2 Ht$	
71	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAP Ht + b_3 DAP^2 Ht$	Australiana
72	$Y = b_0 + b_1 DAP^3 + b_2 DAP Ht + b_3 DAP^2 Ht$	
73	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP Ht^2 + b_3 DAP^2 Ht$	
74	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAP Ht^2 + b_3 DAP^2 Ht$	
75	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 Ht$	
76	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 + b_3 Ht$	
77	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 Ht^2$	
78	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAP^3 + b_3 Ht$	
79	$Y = b_0 + b_1 \ln(Ht) + b_2 \ln(DAP)$	
80	$Y = b_0 + b_1 \text{Lg}_2(DAP) + b_2 Ht$	
81	$Y = b_0 + b_1 \text{Lg}_2(DAP) + b_2 Ht^2$	
82	$Y = b_0 + b_1 \text{Lg}_2(DAP) + b_2 Ht^3$	
83	$Y = b_0 + b_1 \text{Lg}_2(DAP) + b_2 \text{Lg}_2(Ht)$	
84	$Y = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAP^2$	
85	$Y = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAP^{1.5}$	

Continuación

N°	Modelos originales	Nombre del modelo
86	$Y = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAP^3$	
87	$Y = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 DAP^{1.5}$	
88	$Y = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 Ht^2$	
89	$Y = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 Ht^3$	
90	$Y = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAPHt$	
91	$Y = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 DAPHt$	
92	$Y = b_0 + b_1 Lg_2(Dc) + b_2 Lg_2(DAP)$	
93	$Y = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Dc^2$	
94	$Y = b_0 + b_1 Ln(Dc) + b_2 Ln(DAP)$	
95	$Y = b_1 DAP^2 + b_2 DAP^3 Ht + b_3 DAPHt^2 + b_4 Ht^2$	
96	$Y = b_1 DAP^2 + b_2 DAP^3 Ht + b_3 DAPHt^2 + b_4 Ht^2$	Meyer (mod.)
97	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAPHt + b_4 DAP^2 Ht$	
98	$Y = b_0 + b_1 DAP^{1.5} + b_2 Dc^2 + b_3 DAPHt + b_4 Ht^3$	
99	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 Dc + b_3 Ht$	
100	$Y = b_0 + b_1 DAPHt + b_2 Dc$	
101	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 Ht + b_2 Dc$	
102	$Y = b_0 + b_1 DAP^3 Ht + b_2 Dc$	
103	$Y = b_0 + b_1 DAPHt^2 + b_2 Dc$	
104	$Y = b_0 + b_1 DAPHt^3 + b_2 Dc$	
105	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 Ht^2 + b_2 Dc$	
106	$Y = b_0 + b_1 DAPHt + b_2 Dc^2$	
107	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht Dc$	
108	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht Dc$	
109	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 Dc$	
110	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP Dc$	
111	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 Dc$	
112	$Y = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP Dc$	
113	$Y = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP Dc$	
114	$Y = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP^2 Dc$	
115	$Y = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP Dc^2$	
116	$Y = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP Dc^2$	
117	$Y = b_0 + b_1 Ht + b_2 Ht Dc$	
118	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^3 + b_3 Dc^2$	
119	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^3$	
120	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht Dc^2$	
121	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 Dc$	
122	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 Hf$	

El ajuste y prueba de los modelos se realizó utilizando la herramienta “Análisis de Datos” del Software Microsoft Excel, verificando los supuestos del modelo de regresión lineal y determinando la significancia estadística de los coeficientes de regresión.

I. ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Una vez identificadas las variables se realizó el análisis de regresión lineal basado en el método de los mínimos cuadrados (Cailliez, 1980), haciendo uso del Software Microsoft Excel a través de la herramienta “Análisis de Datos”.

Luego, para cada ecuación se analizó el coeficiente de determinación, la prueba de significancia Fisher y la prueba t de Student para descartar aquellas que no cumplen con los criterios. (Barrena *et al.*, 1986).

- **Coefficiente de determinación (R^2):** Fue el primer criterio de decisión, para lo cual se analizaron los resultados del R^2 de todas las ecuaciones y se eliminaron aquellas que presentaron un R^2 inferior a 0,8 (Alvarado & Obagui, 2008).

- **Prueba de significancia Fisher “F”:** Para determinar si el modelo de regresión es apropiado, se planteó la siguiente hipótesis (Mendiburu, sf):

$H_0: B_1=0$ (El modelo no es apropiado, no existe
regresión lineal entre X e Y)

$H_1: B_1 \neq 0$ (El modelo es apropiado, existe regresión
lineal entre X e Y)

Asimismo, el estadístico de prueba:

$$F_0 = \text{CMR}/\text{CME} \sim F_{(1, n-2)}$$

Región Crítica: $R_c < F_{(1-\alpha, 1, n-2), \omega}$

Si $F_0 > F$ crítico, se rechaza la hipótesis nula.

Si p-Valor $< \alpha$, se rechaza la hipótesis nula.

Donde se evaluó a un nivel de confianza de 95 por ciento, por lo que el valor de $\alpha = 0,05$ (Rojo, 2012).

Por ello, se descartaron aquellas ecuaciones que presentaban un p-valor superior a 0,05.

- **Prueba de significancia t de Student:** Para la cual se plantea la siguiente hipótesis (Mendiburu, sf.):

$H_0: B_i = 0$ (La variable X_i no es significativa en el modelo)

$H_1: B_i \neq 0$ (La variable X_i es significativa en el modelo)

Además:

$$t_o = B_i / S (B_i)$$

Rechazándose H_0 si:

$$t_o < t_{(\alpha/2, n-2)} \text{ o } t_o > t_{(1-\alpha, n-2)}$$

Por otro lado, se calcula el p-valor, que debe ser menor al nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), rechazándose así la hipótesis nula.

Al aplicar este criterio de decisión, se descartan aquellas ecuaciones que presentaron un p-valor superior a 0,05 en alguno de sus coeficientes estimados.

- **Análisis de los residuos:** Consistió en analizar la gráfica de los residuales con la biomasa estimada o volumen estimado para cada ecuación (Bussab, 1986). Se representó el valor real de la variable dependiente (en el eje Y) y el valor predicho de la misma variable (en el eje X).

Se analizaron los gráficos y se tomaron en cuenta aquellos que no mostraban algún patrón definido.

m. ANÁLISIS DE REGRESIÓN PONDERADA

Cuando los modelos no presentaron un ajuste deseado (presentaban heterocedasticidad), se procedió a generar modelos ponderados a partir de los modelos que cumplieron con los análisis preliminares: R^2 , prueba F, prueba t de Student. (FAO, 1980).

Al generar estos modelos ponderados se elimina la fuente del problema. Dado que al dividir las variables del modelo por la forma estimada de esta función de la raíz de la varianza heterocedástica se estará corrigiendo el modelo.

Para ello, se utilizaron diversos factores de ponderación elevados a diferentes exponentes hasta determinar cuál de ellos era el más adecuado, utilizándose tantos factores como fuera necesario para homogenizar la varianza.

Los factores de ponderación ($1/K$) utilizados dependieron de la cantidad de variables incluidas en la ecuación.

- Factor de Ponderación:

Los nuevos modelos se construyeron multiplicándolos por la inversa de los factores de ponderación ($1/k$), los cuales estaban en función a la variable independiente del modelo. Para un mejor ajuste los pesos o ponderaciones “k” deben ser proporcionales a $1/S_i$ (Desviación Standard Residual de y_i) (Barrena, 1988).

En la presente investigación se utilizaron tantos factores de ponderación como fue necesario y de acuerdo a la cantidad de variables independientes que presentaban los modelos.

Tal como lo indica Escobar (2015), se utilizaron todas las variables independientes elevadas a diferentes exponentes. Por cada una de las variables se utilizó dicha variable elevada a 9 exponentes los cuales variaron desde 0,2 hasta 4; dado que a partir del exponente 4 no había una mejora en los resultados.

Tabla 9: Factores de ponderación utilizados según cada variable incluida en las ecuaciones de biomasa y volumen.

Variable	Cantidad de factores	K (Factor de ponderación)
DAP	9	$DAP^{0,2}; DAP^{0,5}; DAP; DAP^{1,5}; DAP^2; DAP^{2,5}; DAP^3; DAP^{3,5}; DAP^4$
HT	9	$Ht^{0,2}; Ht^{0,5}; Ht; Ht^{1,5}; Ht^2; Ht^{2,5}; Ht^3; Ht^{3,5}; Ht^4$
DC	9	$Dc^{0,2}; Dc^{0,5}; Dc; Dc^{1,5}; Dc^2; Dc^{2,5}; Dc^3; Dc^{3,5}; Dc^4$
DAP HT	41	$DAP^{0,2}; DAP^{0,5}; DAP; DAP^{1,5}; DAP^2; DAP^{2,5}; DAP^3; DAP^{3,5}; DAP^4,$ $Ht^{0,2}; Ht^{0,5}; Ht; Ht^{1,5}; Ht^2; Ht^{2,5}; Ht^3; Ht^{3,5}; Ht^4, DAP*Ht^{0,2}, DAP*Ht^{0,5},$ $DAP*Ht, DAP*Ht^{1,5}, DAP*Ht^2, DAP*Ht^{2,5}, DAP*Ht^3, DAP*Ht^{3,5};$ $(DAP^2*Ht)^{0,2}; (DAP^2*Ht)^{0,5}; (DAP^2*Ht); (DAP^2*Ht)^{1,5}; (DAP^2*Ht)^2;$ $(DAP^2*Ht)^{2,5}; (DAP^2*Ht)^3; (DAP^2*Ht)^{3,5}; DAP^{0,2}*Ht; DAP^{0,5}*Ht;$ $DAP^{1,5}*Ht; DAP^2*Ht; DAP^{2,5}*Ht; DAP^3*Ht; DAP^{3,5}*Ht.$
DAP DC	41	$DAP^{0,2}; DAP^{0,5}; DAP; DAP^{1,5}; DAP^2; DAP^{2,5}; DAP^3; DAP^{3,5}; DAP^4;$ $Dc^{0,2}; Dc^{0,5}; Dc; Dc^{1,5}; Dc^2; Dc^{2,5}; Dc^3; Dc^{3,5}; Dc^4, DAP*Dc^{0,2},$ $DAP*Dc^{0,5}, DAP*Dc, DAP*Dc^{1,5}, DAP*Dc^2, DAP*Dc^{2,5}, DAP*Dc^3,$ $DAP*Dc^{3,5}; (DAP^2*Dc)^{0,2}; (DAP^2*Dc)^{0,5}; (DAP^2*Dc); (DAP^2*Dc)^{1,5};$ $(DAP^2*Dc)^2; (DAP^2*Dc)^{2,5}; (DAP^2*Dc)^3; (DAP^2*Dc)^{3,5}; DAP^{0,2}*Dc;$ $DAP^{0,5}*Dc; DAP^{1,5}*Dc; DAP^2*Dc; DAP^{2,5}*Dc; DAP^3*Dc; DAP^{3,5}*Dc$
HT DC	41	$Ht^{0,2}; Ht^{0,5}; Ht; Ht^{1,5}; Ht^2; Ht^{2,5}; Ht^3; Ht^{3,5}; Ht^4, Dc^{0,2}; Dc^{0,5}; Dc; Dc^{1,5};$ $Dc^2; Dc^{2,5}; Dc^3; Dc^{3,5}; Dc^4, Dc*Ht^{0,2}, Dc*Ht^{0,5}, Dc*Ht, Dc*Ht^{1,5}, Dc*Ht^2,$ $Dc*Ht^{2,5}, Dc*Ht^3, Dc*Ht^{3,5}; (Dc^2*Ht)^{0,2}; (Dc^2*Ht)^{0,5}; (Dc^2*Ht);$ $(Dc^2*Ht)^{1,5}; (Dc^2*Ht)^2; (Dc^2*Ht)^{2,5}; (Dc^2*Ht)^3; (Dc^2*Ht)^{3,5}; Dc^{0,2}*Ht;$ $Dc^{0,5}*Ht; Dc^{1,5}*Ht; Dc^2*Ht; Dc^{2,5}*Ht; Dc^3*Ht; Dc^{3,5}*Ht.$
DAP HT DC	65	$DAP^{0,2}; DAP^{0,5}; DAP; DAP^{1,5}; DAP^2; DAP^{2,5}; DAP^3; DAP^{3,5}; DAP^4,$ $Ht^{0,2}; Ht^{0,5}; Ht; Ht^{1,5}; Ht^2; Ht^{2,5}; Ht^3; Dc^{0,2}; Dc^{0,5}; Dc; Dc^{1,5}; Dc^2; Dc^{2,5};$ $Dc^3; Dc^{3,5}; Dc^4, DAP*Ht^{0,2}, DAP*Ht^{0,5}, DAP*Ht, DAP*Ht^{1,5}, DAP*Ht^2,$ $DAP*Ht^{2,5}, DAP*Ht^3, DAP*Ht^3; (DAP^2*Ht)^{0,2}; (DAP^2*Ht)^{0,5};$ $(DAP^2*Ht); (DAP^2*Ht)^{1,5}; (DAP^2*Ht)^2; (DAP^2*Ht)^{2,5}; (DAP^2*Ht)^3;$ $(DAP^2*Ht)^{3,5}; DAP^{0,2}*Ht; DAP^{0,5}*Ht; DAP^{1,5}*Ht; DAP^2*Ht; DAP^{2,5}*Ht;$ $DAP^3*Ht; DAP^{3,5}*Ht; DAP*Dc^{0,2}, DAP*Dc^{0,5}, DAP*Dc, DAP*Dc^{1,5},$ $DAP*Dc^2, DAP*Dc^{2,5}, DAP*Dc^3; Dc^{0,2}*Ht; Dc^{0,5}*Ht; Dc^{1,5}*Ht; Dc^2*Ht;$ $Dc^{2,5}*Ht; Ht^{0,2}*Dc; Ht^{0,5}*Dc; Ht^{1,5}*Dc; Ht^2*Dc; Ht^{2,5}*Dc.$

FUENTE: Elaboración propia.

Las ecuaciones ponderadas fueron sometidas al análisis de regresión, donde se descartaron aquellas que no cumplían con las pruebas de significancia estadística F y t de Student, así como aquellas que no lograron homogenizar su varianza, lo que se analizó través de un análisis del gráfico de residuos ponderados.

n. SELECCIÓN DE LA MEJOR ECUACIÓN

Una vez identificadas las mejores ecuaciones, se procedió a realizar una última evaluación con respecto al Cuadrado medio del error y el Índice de Furnival.

Para los modelos sin ponderar se evaluó:

- **Cuadrado medio del error:** Se identificaron y seleccionaron aquella ecuación que presentaba un CME menor.

Para los modelos ponderados se evaluó:

- **Índice de Furnival (IF):** Se seleccionó aquella que como resultado tiene el menor valor de IF, de esta forma se reafirma que la ecuación estima o predice valores (Chatterjee & Price, 1999).

Para ello se utilizó la siguiente fórmula (Furnival, 1961):

$$IF = S * \text{antilog} (1/n * \sum \text{Log} p)$$

Donde:

S= Raíz cuadrada del CME o error típico

n= Número de individuos evaluados

p= Inversa del factor de ponderación, aplicado para cada individuo.

Para la selección del modelo o ecuación final se comparó el valor de IF y CME de las ecuaciones ponderadas y sin ponderar respectivamente, eligiendo aquella que presente el menor valor.

Si la ecuación final seleccionada fue ponderada, se realizó una conversión volviendo a multiplicar dicha ecuación por su factor de ponderación, obteniendo la ecuación final que es la adecuada para la estimación de biomasa y volumen respectivamente.

o. COMPARACIÓN DE BIOMASA Y VOLUMEN ESTIMADOS Y CALCULADOS

Se realizó la comparación de resultados obtenidos a partir de las ecuaciones con los resultados obtenidos con los datos en campo de los 31 individuos de la especie *Myrcianthes oreophila* con los que se trabajó, para determinar el error de sobreestimación o de subestimación, según sea el caso.

Para la estimación de biomasa, se comparó los datos obtenidos de la ecuación seleccionada con los datos del peso calculado en campo, mientras que, para la estimación de volumen, se comparó los datos obtenidos a través de la ecuación seleccionada con los datos del volumen calculado mediante la fórmula de Smalian.

IV. RESULTADOS

4.1. RECONOCIMIENTO DE LA ZONA

Previo al viaje de reconocimiento, se dió la visita del alcalde del distrito de Luis Carranza – Ayacucho, en compañía del representante de la ONGD Pumamayu, el Blgo. Luis Hernán Vargas a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina. La reunión se llevó a cabo liderada por el profesor Víctor Barrena y el profesor Enrique Gonzales, haciendo de conocimiento al alcalde la metodología y el proceso para la realización del convenio.

Posteriormente, se realizó el primer viaje a Luis Carranza y en coordinación con el alcalde se realizó la visita al bosque de Sacsamarca (posible zona de estudio), en compañía de un poblador local. Aunque había disposición del alcalde, no se logró concretar el apoyo de la Municipalidad y de los pobladores, debido a la cantidad de actividades que tenían programadas.

Se realizó el viaje a Lima, mientras que el representante de la ONGD realizaba las coordinaciones con el alcalde de Huaccana, el sr. Hugo Najarro Rojas, quien tuvo una gran disposición y compromiso desde el inicio e informó a todas las autoridades locales correspondientes. Con los equipos necesarios y el respaldo del profesor Victor Barrena, se viajó a Huaccana y se realizó una reunión con las autoridades explicando la metodología y los objetivos del estudio. Asimismo, se firmó el convenio entre la ONGD y la Municipalidad para iniciar las coordinaciones con la población local, entre las opciones del lugar para el estudio estaban los bosques de Pumachuco, Oscollo o Yanaunca. Finalmente, se decidió por Yanaunca, debido a las conversaciones previas con algunos pobladores de San Ramón de Yanavilca y Curampa (centros poblados cercanos).

Al bosque Yanaunca sólo se accede caminando y es parte de un bosque relicto de *Myrcianthes oreophila*, se encuentra a una altitud entre los 3000 a 3800 msnm. En el área recorrida existen zonas de muy difícil accesibilidad con pendientes que en promedio llegan a 60 por ciento (31°).

4.2. COORDINACIONES LOCALES

Como resultado de la asamblea general realizada con la Comunidad de San Ramón de Yanavilca, liderada por el encargado de la Municipalidad de Huaccana, el Sr. Marcelino Prado y con la presencia del presidente de la Comunidad de San Ramón de Yanavilca, el Sr. Raul Torres, se realizó la exposición de la investigación. Se solicitó que sea posible realizar la colecta de al menos 33 individuos

de la especie *Myrcianthes oreophila*. En dicha exposición se les explicó cuáles serían los beneficios de la realización de dicho estudio, entre ellos la posibilidad de realizarse un proyecto de reforestación y conservación de la especie con el fin de participar en proyectos de captura de Carbono, dicho proceso se daría a través del compromiso de la ONGD Pumamayu. Por ello, toda la información resultante del presente estudio sería brindada a la Municipalidad, a los representantes de la Comunidad y a la ONG.

Posterior a la exposición, el presidente de la Comunidad, el sr. Raúl Torres junto a varios de los pobladores estuvieron de acuerdo con el estudio, sin embargo, no lo estuvieron con la extracción de 33 individuos, dado que sabían que la extracción sin ningún tipo de permiso podía problemas con el Servicio Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR. Por ello, se generó el compromiso de iniciar con el proceso para la autorización y se realizó una visita a la zona de estudio. Durante la segunda reunión, la comunidad realizó un acta comunal con el permiso respectivo (Anexo 1).

Con el acta comunal se viajó a una de las oficinas de SERFOR, ubicada en Uripa (cuatro horas de Huaccana), en dicha oficina se nos informó que el permiso debía realizarse en Lima, por lo que se viajó nuevamente, causando que se aplase la logística y coordinaciones realizadas en Huaccana.

Una vez en Lima, fueron realizados los trámites respectivos para solicitar el Permiso de Investigación científica con colecta de flora silvestre fuera de Áreas Naturales Protegidas sin acceso a recursos genéticos”, el cual fue emitido el día 27 de Junio del 2016 con resolución de dirección general N° 225 – 2016 – SERFOR/DGGSPFFS, indicando que se brinda permiso para la extracción de los individuos de la especie *Myrcianthes oreophila* necesarios para el estudio, por el periodo de 04 meses a partir de la emisión de la resolución (Anexo 2), con dicho permiso se viajó nuevamente hacia Huaccana a realizar el trabajo en campo.

4.3. SELECCIÓN DE INDIVIDUOS

Tal como lo indica la metodología, se seleccionaron 33 individuos de la especie *Myrcianthes oreophila*. Todos los individuos seleccionados tuvieron un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor a 10 cm y se trató de abarcar todas las clases diamétricas posibles. Así mismo dentro de la muestra representativa se seleccionaron los individuos con mayor accesibilidad para su corte.

4.4. TRABAJO EN CAMPO

4.4.1. MARCADO DE ÁRBOLES

Se marcaron un total de 33 individuos. Para ello, se contó con el apoyo de dos personas, que ayudaban a identificar a los individuos y a acceder a ellos, debido a las zonas de difícil accesibilidad en la que se encontraban varios de ellos.

4.4.2. MEDICIÓN DE PARÁMETROS

La medición de parámetros se realizó durante dos días. Los datos obtenidos fueron tomados con un decimal y se presentan en el Anexo 3.



Figura 17. Medición del DAP en la fase de campo.

En la Tabla 10 se presenta los datos del DAP, alturas y diámetros de copa tomados en campo.

Tabla 10: DAP, altura de fuste, altura total y diámetro de copa de los 33 individuos evaluados.

Individuo	DAP (cm)	Altura fuste (m)	Altura total (m)	Diámetro de copa 1 (m)	Diámetro de copa 2 (m)
U001	13,5	3	4,1	3,3	3,7
U002	10,2	1,65	4,35	3	2,8
U003	13,5	1,9	3,4	3,6	4,2
U004	13,4	3,04	4,24	4	3,6
U005	12,8	1,93	4,33	3,9	4,3
U006	18,5	1,935	4,835	3,7	3,9
U007	24,8	2,7	6,2	4,9	4,3
U008	17,5	3,74	5,24	3,9	3,5
U009	17,1	2,45	4,35	4,3	4,7
U010	19	3,02	6,22	4,9	4,7
U011	11,9	3,27	5,57	3,5	3,9
U012	18,7	3,36	6,06	4	4,4
U013	12,4	3,11	4,71	2,5	3
U014	23,4	2,92	5,22	4,6	4,2
U015	18,5	3,5	6,7	4,3	4,7
U016	15,5	2,28	6,58	3,4	3,8
U017	14,2	2,78	6,48	2,5	3,5
U018	13,8	2,66	5,66	4,3	3,9

Continuación

Individuo	DAP (cm)	Altura fuste (m)	Altura total (m)	Diámetro de copa 1 (m)	Diámetro de copa 2 (m)
U019	11,1	2,24	5,74	2,6	3,2
U020	34,1	3,92	6,22	6,1	6,5
U021	17,5	2,61	4,51	4,2	3,7
U022	15,6	2,29	6,09	4	4,4
U023	13,5	3,19	4,79	2,7	2,9
U024	12,6	2,87	5,17	2,1	2,7
U025	14	1,54	4,14	2,9	2,7
U026	17	2,84	6,34	3,4	3,8
U027	18	2,72	5,42	3,9	3,3
U028	19,3	2,34	5,44	4,7	4,3
U029	28,8	3,7	7,9	6,4	7
U030	19	1,98	5,58	4,5	4,1
U031	22,2	5,57	8,67	5	5,4
U032	32,1	4,5	8,2	6	6,2
U033	26	3,04	7,94	5,3	4,9

De los datos presentados en la Tabla 10, se puede observar que el individuo con mayor DAP es el individuo U020 con 34,1 cm y el de menor diámetro fue el U002 con 10,2 cm. Por otro lado, el individuo de mayor altura total es el individuo U031 con 8,67 metros y el de menor altura total el individuo U003 con 3,4 metros, por lo que, aunque existe una relación entre DAP y altura total, esta no se presenta en todos los individuos.

Asimismo, se observa que la especie presenta copas grandes, siendo la de menor diámetro promedio el individuo U024 con 2,4 metros y el de mayor diámetro el U029 con 6,7 metros, observándose que la relación es más estrecha entre DAP y diámetro de copa lo que es corroborado por Malleux (1982).

Se calculó la media aritmética, desviación estándar, y coeficiente de variabilidad de las variables diámetro a la altura del pecho, altura total, altura de fuste y diámetro de copa, las cuales se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11: Estadística descriptiva del DAP, altura de fuste (Hf), altura total (Ht) y diámetro de copa (Dc)

	DAP	Hf	Ht	Dc
Promedio	17,86	2,87	5,65	4,11
Desv. Estandar	5,8983482	0,8293526	1,2688372	1,1171273
Coef. Variabilidad (%)	33,02	28,89	22,46	27,17

Tal como se observa en la Tabla 11, la desviación estándar es menor a la mitad de la media aritmética, por lo que se podría decir que no existen muchos valores extremos que puedan sesgar el análisis.

Asimismo, el mayor coeficiente de variabilidad lo presentan los datos de DAP, por ser una variable que continúa creciendo durante su desarrollo presenta una mayor dispersión de valores; mientras que el menor coeficiente de variabilidad lo presentan las variables altura total (Ht) dado que presentan datos más uniformes.

Con los datos obtenidos, se determinó la estructura de la distribución diamétrica de los individuos seleccionados, los cuales se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12: Estructura de la distribución diamétrica de los 33 árboles evaluados.

Clase diamétrica	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
10 - 14,99 cm	12,495	12	36,36
15 - 19,99 cm	17,495	13	39,39
20 - 24,99 cm	22,495	4	12,12
25 - 29,99 cm	27,495	2	6,06
30 - 34,99 cm	32,495	2	6,06

Tal como se observa en la Figura 18, la distribución diamétrica de los individuos seleccionados, presenta una tendencia donde la mayor cantidad de individuos se agrupan hacia el lado izquierdo, dado que existe un gran número de individuos en las primeras clases diamétricas de 10-15 cm y de 15-20 cm.

Cabe resaltar que esta especie, tal y como indican los pobladores de la zona, ha sido utilizada para leña y carbón durante muchos años por lo que su extracción ha determinado que no se haya evaluado muchos individuos con diámetros mayores, además de encontrarse en zonas de difícil acceso debido a la pendiente.

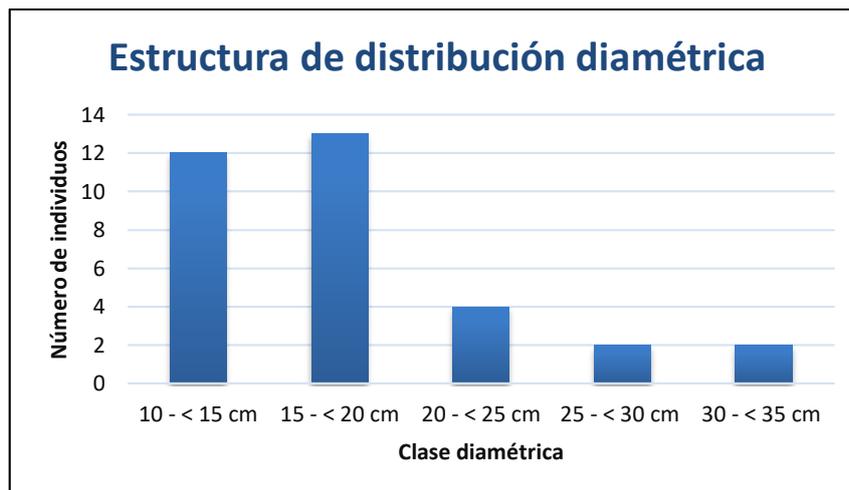


Figura 18. Distribución diamétrica de los individuos seleccionados.

4.4.3. TUMBADO Y TROZADO DE ÁRBOLES

El tumbado y trozado de árboles, se realizó con el apoyo de dos personas. El trozado en tres partes permitió la toma de muestras por niveles longitudinales del fuste de cada individuo (base, media y alta) y facilitó la actividad de medición de cada sección, cuyos datos se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13: Datos de secciones del fuste de los 33 individuos evaluados.

Individuo	Long.			Long.			Long.		
	1/3	DM	Dm	2/3	DM	Dm	3/3	DM	Dm
U001	85	15,3	13,6	85	13,2	12,6	108	11,9	8,7
U002	50	10,6	10,4	50	10,4	10,2	57	10,1	9,8
U003	40	18,3	16,5	40	16	14,7	40	13,4	13,4
U004	90	15,1	14,5	90	14,4	12,5	90	12,8	11
U005	40	14,2	13,6	40	13,7	13,2	50	13,2	11
U006	62	19,5	18,5	62	18,2	17,3	62	17,5	16,3
U007	90	25,1	23,8	90	23,5	23,1	90	23,1	22,8
U008	122	18	16	122	13,5	14,3	110	11,7	12,6
U009	85	21,3	18	85	17,5	14,4	90	13,8	12,5
U010	96	21	17,7	96	17,7	17,5	103	17,7	16,9
U011	100	14,2	12	100	12	11,8	100	11,8	11,2
U012	105	19	17,6	105	18	13,8	130	13,8	12,5
U013	105	13,8	13,3	105	12,4	13,2	110	9,5	8,6
U014	85	24	22,9	85	22,9	17,9	90	17,3	13,4
U015	110	20,8	19,2	110	19	16	120	16,3	16,2
U016	70	19,5	17	70	16,1	15,3	75	16,1	14,8
U017	85	16,8	14,8	85	14,4	14,9	90	14,8	14,6
U018	80	17	15,5	80	14,8	13,4	100	13,4	12,9

Continuación

Individuo	Long. 1/3	DM	Dm	Long. 2/3	DM	Dm	Long. 3/3	DM	Dm
U019	76	16,4	14	76	13,8	11	76	10,6	10,1
U020	70	35,5	34,3	70	34,1	32,5	70	32,3	30
U021	90	17,4	17,3	90	17,3	14,2	90	14,3	10,7
U022	76	18,5	17,3	76	17	12,8	90	12,2	13,3
U023	110	14,1	12,8	110	13,6	10,8	110	10,8	11,1
U024	100	14,4	12,9	100	12,9	12	110	12	13,2
U025	45	16,5	15,6	45	13,8	13,1	48	14,3	13,8
U026	95	17,5	17,2	95	15,6	16,1	80	16,1	10,6
U027	90	19	18	90	17,9	18,4	85	18,6	14,3
U028	90	21	17,2	90	17,2	12,1	90	11,9	11,6
U029	110	28,4	26,1	110	25,9	24,6	110	25	23,6
U030	50	19,1	18,5	50	18	17,9	60	17,9	18,5
U031	180	22,5	19	180	18,6	16,8	180	16,5	15
U032	115	32,8	30,7	115	30,5	27,7	120	27,4	26,1
U033	80	26,7	25,6	80	25,4	23,7	100	23,5	21,4

4.4.4. PESADO DE FUSTE

Las secciones de fustes fueron pesadas utilizando la estructura construida (trípode) y los datos obtenidos se encuentran contenidos en la Tabla 14.

Tabla 14: Pesos de las secciones del fuste tomados en campo.

Individuo	Peso 1° sección (kg)	Peso 2° sección (kg)	Peso 3° sección (kg)	Peso total de fuste (kg)
U001	17,5	12	9,9	39,7
U002	9,0	6,4	3,4	21,22
U003	13,6	10	7,7	32,4
U004	19,7	12,4	10,4	43,32
U005	7,5	6,4	6,8	21,9
U006	15,1	17,2	15	49
U007	44,1	31,8	17,1	101
U008	31,3	24	15,3	70,6
U009	33,5	19,3	14	66,8
U010	29	22,5	31,5	83
U011	16,3	13,4	11,2	40,9
U012	26,8	23,9	18,9	69,6
U013	24,1	19	15,1	58,2
U014	31,5	26,6	18,4	76,5
U015	37,9	25,8	28,6	92,3
U016	24	18,3	13,4	55,7

Continuación

Individuo	Peso 1° sección (kg)	Peso 2° sección (kg)	Peso 3° sección (kg)	Peso total de fuste (kg)
U017	20,2	15,3	14	49,5
U018	15,7	12,7	13,4	41,8
U019	14,9	10,2	10	35,1
U020	83,7	72,6	42,3	198,6
U021	21,9	18,9	11,3	52,1
U022	20,6	16,3	9,2	46,1
U023	16,9	14,4	11,2	42,5
U024	15	14,1	14,4	43,5
U025	9,4	7,5	8,4	25,3
U026	26	23,8	17,6	67,4
U027	24,1	22,7	18,8	65,6
U028	29,7	15,8	11,8	57,3
U029	75,6	60,5	54,7	190,8
U030	16,5	15,4	19,3	51,2
U031	66,4	44,9	36,2	147,5
U032	99,6	83,3	61,3	244,2
U033	41,1	43,3	45	129,4

4.4.5. CLASIFICACIÓN Y PESADO DE RAMAS

Para separar las ramas del fuste, se utilizó en primera instancia la motosierra. De esta forma se separaron aquellas ramas con diámetro mayor a 3 cm; mientras que para aquellas ramas con diámetros menores a 3cm se hizo uso de machete. Dichas ramas fueron separadas para ser pesadas junto a la hojarasca.



Figura 19. Pesado de ramas de la especie *Myrcianthes oreophila*.

Los datos obtenidos del pesado de ramas se presentan en la Tabla 15, donde se observa que aquellos individuos con los DAP mayores han desarrollado una gran cantidad de ramas.

Tabla 15: Datos del peso de ramas de los 33 individuos evaluados.

Individuo	DAP (cm)	Altura total (m)	Peso ramas (kg)
U001	13,5	4,1	35,6
U002	10,2	4,35	24,4
U003	13,5	3,4	53,8
U004	13,4	4,24	26,8
U005	12,8	4,33	44,2
U006	18,5	4,835	62,5
U007	24,8	6,2	88,6
U008	17,5	5,24	61,5
U009	17,1	4,35	75
U010	19	6,22	90,1
U011	11,9	5,57	41,7
U012	18,7	6,06	54,3
U013	12,4	4,71	22,9
U014	23,4	5,22	65,7
U015	18,5	6,7	96,8
U016	15,5	6,58	77,6
U017	14,2	6,48	74,9
U018	13,8	5,66	43
U019	11,1	5,74	39,6
U020	34,1	6,22	136,6
U021	17,5	4,51	43
U022	15,6	6,09	116,8
U023	13,5	4,79	34,1
U024	12,6	5,17	35,2
U025	14	4,14	41,3
U026	17	6,34	55,1
U027	18	5,42	55,2
U028	19,3	5,44	78,8
U029	28,8	7,9	122,5
U030	19	5,58	83
U031	22,2	8,67	102,3
U032	32,1	8,2	113,2
U033	26	7,94	241,1

4.4.6. PESADO DE HOJARASCA

Se consideró como hojarasca a las hojas y ramas con diámetro menor a 3 cm. Los datos obtenidos se presentan en la Tabla 16, donde se observa que la especie *Myrcianthes oreophila*

tiene como característica el presentar una copa relativamente grande, que es aportada en gran cantidad por las hojas.

Tabla 16: Datos del peso de hojarasca de los 33 individuos evaluados.

Individuo	DAP (cm)	Altura total (m)	Peso hojarasca (kg)
U001	13,5	4,1	43,9
U002	10,2	4,35	27,5
U003	13,5	3,4	35,2
U004	13,4	4,24	30,9
U005	12,8	4,33	38,6
U006	18,5	4,835	52,1
U007	24,8	6,2	58,2
U008	17,5	5,24	36,8
U009	17,1	4,35	59,3
U010	19	6,22	62,1
U011	11,9	5,57	44,5
U012	18,7	6,06	48,2
U013	12,4	4,71	28,2
U014	23,4	5,22	79,8
U015	18,5	6,7	66,9
U016	15,5	6,58	52,8
U017	14,2	6,48	46,7
U018	13,8	5,66	40,1
U019	11,1	5,74	37,4
U020	34,1	6,22	104,6
U021	17,5	4,51	36,7
U022	15,6	6,09	42,8
U023	13,5	4,79	20,7
U024	12,6	5,17	23,6
U025	14	4,14	26
U026	17	6,34	44,2
U027	18	5,42	42,1
U028	19,3	5,44	56,6
U029	28,8	7,9	86,3
U030	19	5,58	67,9
U031	22,2	8,67	69,1
U032	32,1	8,2	82,2
U033	26	7,94	99,5

4.4.7. OBTENCIÓN DE RODAJAS DE FUSTE

El trozado de cada individuo se llevó a cabo sin ninguna dificultad, pero teniendo en consideración que el área de trabajo presentaba cierta dificultad para su accesibilidad y por

presentar pendientes por lo que existía la posibilidad de que la troza cortada pueda resbalar y no poder recuperarse.

4.4.8. OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE RAMAS

La obtención de muestras de ramas se realizó sin mayores complicaciones. Se obtuvo entre una y dos muestras de ramas más representativas de cada individuo.

4.4.9. OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE HOJARASCA

Durante la obtención de las muestras de hojarasca, se observó que la especie estaba en floración, pero que presentaba pocas flores.

A continuación, en la Tabla 17 se presenta los datos obtenidos en campo del pesado de fuste, ramas y hojarasca.

Tabla 17: Peso fresco del fuste, ramas y hojarasca de cada individuo.

Código	DAP (cm)	Altura total (m)	Peso total fuste (kg)	Peso total ramas (kg)	Peso total hojarasca (kg)
U001	13,5	4,1	39,7	35,6	43,9
U002	10,2	4,35	21,22	24,4	27,5
U003	13,5	3,4	32,4	53,8	35,2
U004	13,4	4,24	43,32	26,8	30,9
U005	12,8	4,33	21,9	44,2	38,6
U006	18,5	4,835	49	62,5	52,1
U007	24,8	6,2	101	88,6	58,2
U008	17,5	5,24	70,6	61,5	36,8
U009	17,1	4,35	66,8	75	59,3
U010	19	6,22	83	90,1	62,1
U011	11,9	5,57	40,9	41,7	44,5
U012	18,7	6,06	69,6	54,3	48,2
U013	12,4	4,71	58,2	22,9	28,2
U014	23,4	5,22	76,5	65,7	79,8
U015	18,5	6,7	92,3	96,8	66,9
U016	15,5	6,58	55,7	77,6	52,8

Continuación

Código	DAP (cm)	Altura total (m)	Peso total fuste (kg)	Peso total ramas (kg)	Peso total hojarasca (kg)
U017	14,2	6,48	49,5	74,9	46,7
U018	13,8	5,66	41,8	43	40,1
U019	11,1	5,74	35,1	39,6	37,4
U020	34,1	6,22	198,6	136,6	104,6
U021	17,5	4,51	52,1	43	36,7
U022	15,6	6,09	46,1	116,8	42,8
U023	13,5	4,79	42,5	34,1	20,7
U024	12,6	5,17	43,5	35,2	23,6
U025	14	4,14	25,3	41,3	26
U026	17	6,34	67,4	55,1	44,2
U027	18	5,42	65,6	55,2	42,1
U028	19,3	5,44	57,3	78,8	56,6
U029	28,8	7,9	190,8	122,5	86,3
U030	19	5,58	51,2	83	67,9
U031	22,2	8,67	147,5	102,3	69,1
U032	32,1	8,2	244,2	113,2	82,2
U033	26	7,94	129,4	241,1	99,5
Promedio	17,86	5,65	73,03	70,82	51,26
Max	34,1	8,67	244,2	241,1	104,6
Min	10,2	3,4	21,22	22,9	20,7
CV (%)	33,02	22,46	72,24	60,62	41,69

Tal como se observa en la Tabla 17, el peso promedio del fuste de todos los individuos evaluados es de 73,03 kg, el peso promedio de ramas es de 70,82 kg y la hojarasca tiene un peso promedio de 51,26 kg. La copa, es decir la suma de ramas y hojarasca tienen un peso promedio de 122,08 kg, lo que resalta una de las características de la especie que es la mayor cantidad de copa con respecto al fuste.

Como se observa, existe una mayor variabilidad en el peso del fuste con respecto al peso de la copa (hojarasca y ramas). Por otro lado, es menor la variabilidad que existe en los datos de altura total con respecto al DAP, dado que los individuos muestreados no alcanzaban una altura mayor a 8,67 m, por lo que presentaban datos más uniformes.

Estas características de peso de fustes, ramas y hojarasca dependen también de la condición del sitio, dado que es un factor que influye directamente en el crecimiento de diversas especies, tomando en cuenta la densidad, la cantidad de luz y su ubicación, que en este caso presenta pendientes altas.

4.4.10. ALMACENAMIENTO Y TRASLADO

El almacenamiento de todas las muestras, se realizó en la Municipalidad de Huaccana, en una de las Oficinas ubicadas dentro de las instalaciones para protegerlas de la lluvia e iniciar el secado al aire. Las muestras se dejaron durante aproximadamente 3 semanas, durante las cuales se estuvo monitoreando y moviendo de ubicación para evitar que se desarrollen hongos. Durante los días que estuvieron almacenadas, se observó que, en las muestras de árboles con menor diámetro, es decir las muestras más pequeñas, se empezaron a desprender las cortezas, lo cual se da debido a la diferencia entre el secado de la madera y la corteza y por ende la diferencia de contracción entre ambas, dado que la corteza tiende a secar más rápido.

Debido al volumen y peso del total de muestras obtenidas, no se realizó el traslado en transporte público, por lo que tuvo que hacerse por medio de transporte privado, el cual se realizó sin ningún tipo de inconvenientes hasta Lima. Para ello, todas las muestras fueron envueltas en papel *film* y colocadas en cajas, trasladándolas directamente hacia el laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM.

4.5. EN LABORATORIO y GABINETE

Una vez en el laboratorio, se verificó que estuvieran completas y que todas se encuentren en buen estado.

4.5.1. OBTENCIÓN DE PROBETAS

De cada muestra de fuste (rodaja) se obtuvieron entre 4 a 6 probetas, según su tamaño y considerando todas las partes de la muestra (albura y duramen) para posteriormente calcular el valor promedio.

4.5.2. SATURACIÓN DE PROBETAS Y DETERMINACIÓN DE VOLUMEN

El proceso de saturación de las probetas tuvo una duración de aproximadamente 12 días, después de lo cual se realizó la medición del volumen. Los resultados se presentan en el Anexo 4.

4.5.3. SECADO Y DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS PROBETAS

El proceso de secado hasta la obtención de peso constante duró 96 horas con una temperatura de 103° C. Los datos obtenidos del peso seco de cada probeta obtenida de las rodajas se presentan en el Anexo 5.



Figura 20. Secado de hojarasca en estufa del laboratorio de Tecnología de la Madera.

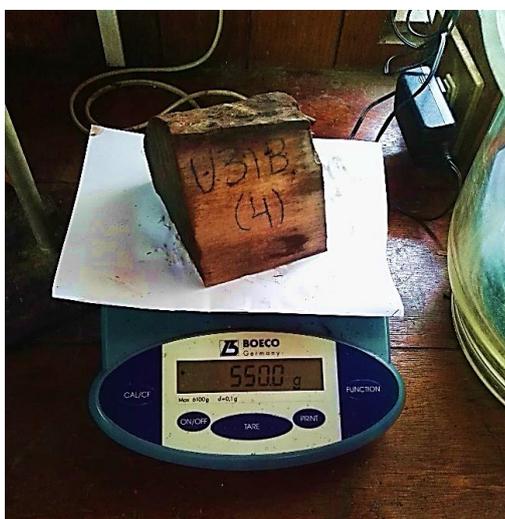


Figura 21. Pesado final de las probetas secas obtenidas de las rodajas.



Figura 22. Pesado final de las muestras de hojarasca seca.

El contenido de humedad de las muestras de fuste y ramas fueron calculadas en el laboratorio, cuyos resultados se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18: Contenido de humedad (en porcentaje) de las muestras de fuste, ramas y hojarasca.

Código	%CH Sección alta del fuste	%CH Sección media del fuste	%CH Sección baja del fuste	%CH Ramas
U001	62,48	69,82	76,35	68,75
U002	75,20	75,39	62,93	76,40
U003	66,78	72,78	67,58	80,39
U004	64,18	68,77	74,24	80,71
U005	75,93	74,41	73,47	68,36
U006	78,32	76,00	72,10	74,36
U007	72,48	66,41	70,10	80,23
U008	71,01	69,69	74,86	74,41
U009	72,37	68,19	62,15	77,29
U010	73,05	76,84	74,72	62,91
U011	70,63	71,18	75,96	74,62
U012	70,20	77,21	73,03	73,95
U013	73,39	69,64	67,80	72,18
U014	73,96	70,73	69,88	79,65
U015	83,08	83,98	78,93	90,83
U016	79,95	79,73	68,36	76,91
U017	90,09	88,49	82,19	98,11
U018	73,63	73,20	76,81	80,75

Continuación

Código	%CH Sección alta del fuste	%CH Sección media del fuste	%CH Sección baja del fuste	%CH Ramas
U019	74,81	66,79	75,47	82,15
U020	63,73	55,46	64,74	57,39
U021	75,47	65,40	74,97	76,49
U022	75,25	76,77	68,60	74,52
U023	79,91	69,45	64,72	83,60
U024	73,45	64,41	69,14	71,11
U025	70,16	68,08	79,05	71,33
U026	71,79	64,20	62,45	78,18
U027	71,55	69,75	68,25	69,68
U028	69,15	67,87	68,95	71,65
U029	88,13	87,83	84,41	91,30
U030	70,79	74,40	68,25	50,44
U031	74,02	73,79	76,27	89,31
U032	71,80	71,14	58,63	74,33
U033	77,77	60,57	75,61	80,17
Promedio	73,77	71,77	71,54	76,14
Max	90,09	88,49	84,41	98,11
Min	62,48	55,46	58,63	50,44
CV (%)	8,11	9,71	8,39	12,18

Como se observa en la Tabla 18, los promedios de humedad para las muestras de fuste son decrecientes desde la sección alta (73,77), seguido por la sección media (71,77) y sección baja (71,54). Esta característica se observa en diversas especies, pues al tener una mayor cantidad de duramen presenta un menor contenido de humedad.

En la sección alta del fuste también se observa una menor variabilidad con respecto a la dispersión de los datos obtenidos de las secciones media y baja.

Asimismo, se observa que las ramas presentan un mayor contenido de humedad y coeficiente de variabilidad, dado que están compuestas por una mayor cantidad de agua libre que es eliminada de forma más fácil.

4.5.4. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS MUESTRAS DE HOJARASCA

El proceso de secado de hojarasca tuvo una duración de 24 horas y los resultados se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19: Contenido de humedad de las muestras de hojarasca

Individuo	% CH Hojarasca	Individuo	% CH Hojarasca
U001	84,38	U018	121,78
U002	117,39	U019	95,40
U003	99,43	U020	110,77
U004	105,58	U021	67,79
U005	113,43	U022	75,36
U006	130,04	U023	65,63
U007	128,54	U024	111,28
U008	107,72	U025	74,42
U009	128,22	U026	61,29
U010	135,29	U027	85,39
U011	90,06	U028	134,90
U012	97,80	U029	122,22
U013	88,89	U030	61,81
U014	90,93	U031	81,00
U015	68,65	U032	79,04
U016	75,05	U033	106,01
U017	96,08		
Promedio		97,32	
Min		61,29	
Max		135,29	
CV (%)		23,12	

Como se observan en los resultados, el contenido de humedad promedio de la hojarasca es de 97,32 por ciento y es mayor a la de las ramas y fuste. Asimismo, su variabilidad es mayor, lo que se debe a la característica de las hojas de ganar o perder humedad con mayor facilidad.

4.5.5. DETERMINACIÓN DE DENSIDAD BÁSICA

Para la determinación de densidad básica de las muestras se utilizó su peso en saturado y su masa seca, utilizando una balanza digital de precisión de 0,1 g.

Tabla 20: Densidad básica del fuste y ramas.

Individuo	DAP (cm)	Altura total (m)	Densidad sección alta del fuste (g/cm ³)	Densidad Sección media del fuste (g/cm ³)	Densidad sección baja del fuste (g/cm ³)	Densidad ramas (g/cm ³)
U001	13,5	4,1	66,98	71,58	68,50	72,35
U002	10,2	4,35	66,77	66,59	69,15	67,37
U003	13,5	3,4	67,22	69,05	66,56	63,83
U004	13,4	4,24	68,96	67,58	68,79	62,73
U005	12,8	4,33	65,51	66,38	67,12	64,93
U006	18,5	4,835	65,05	66,58	67,70	67,72
U007	24,8	6,2	65,04	65,69	64,66	64,69
U008	17,5	5,24	66,65	70,95	70,32	65,37
U009	17,1	4,35	67,05	69,91	73,10	65,59
U010	19	6,22	65,43	63,62	64,60	61,41
U011	11,9	5,57	66,42	67,83	68,80	62,90
U012	18,7	6,06	64,74	66,47	68,12	69,66
U013	12,4	4,71	64,99	67,37	61,55	67,31
U014	23,4	5,22	65,77	70,14	67,68	64,09
U015	18,5	6,7	63,50	67,41	67,18	61,85
U016	15,5	6,58	64,00	65,34	66,79	61,91
U017	14,2	6,48	62,04	62,82	63,21	62,89
U018	13,8	5,66	65,22	65,02	66,91	63,46
U019	11,1	5,74	66,12	64,75	67,48	63,49
U020	34,1	6,22	70,21	72,76	72,36	67,48
U021	17,5	4,51	64,73	70,88	68,72	63,77
U022	15,6	6,09	64,12	66,06	71,81	66,31
U023	13,5	4,79	61,33	68,34	67,34	61,75
U024	12,6	5,17	66,01	70,26	68,40	64,81
U025	14	4,14	66,11	67,94	66,95	67,77
U026	17	6,34	66,91	69,32	72,25	62,65
U027	18	5,42	67,75	71,19	71,08	68,71
U028	19,3	5,44	68,16	71,09	70,38	69,06
U029	28,8	7,9	62,05	61,58	64,63	59,20
U030	19	5,58	69,06	68,55	71,23	73,90
U031	22,2	8,67	64,05	63,01	63,94	59,82
U032	32,1	8,2	64,90	66,53	70,40	64,79
U033	26	7,94	61,59	66,33	63,87	60,16
	Promedio		65,59	67,54	67,93	64,96
	Max		70,21	72,76	73,1	73,9
	Min		61,33	61,58	61,55	59,2
	CV (%)		3,21	4,09	4,18	5,27

De los datos mostrados en la Tabla 20, se puede observar que hay una menor variabilidad en los datos obtenidos de la densidad de la sección alta del fuste, seguida por la sección media y baja, la cual aumenta en los datos obtenidos de las ramas.

Tabla 21: Densidad básica promedio por componente.

Componente	Densidad básica (g/cm ³)
Sección baja del fuste	67,93
Sección media del fuste	67,54
Sección alta del fuste	65,59
Promedio del fuste	67,02
Ramas	64,96

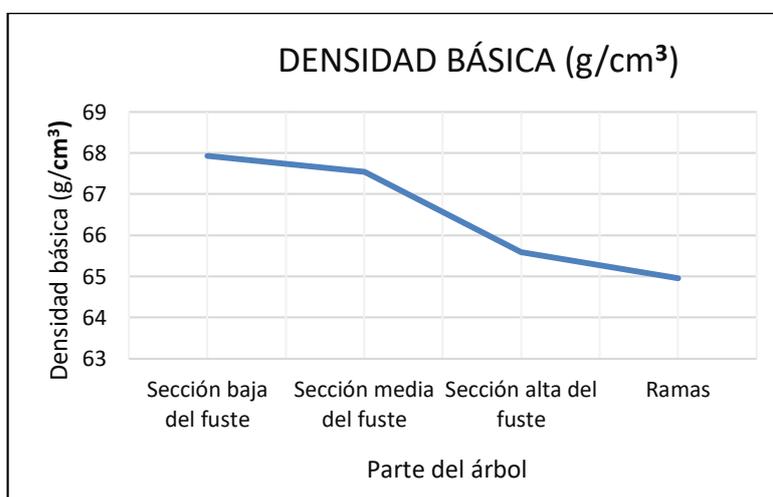


Figura 23. Densidad básica promedio del fuste y ramas.

Según se observa en la Tabla 21 y la Figura 23, los resultados obtenidos con respecto a la variación longitudinal de la densidad del fuste indican que disminuye desde la base hasta la copa. El resultado coincide con lo mencionado por Walker *et al.* (1993) y no coincide con respecto a otros estudios que indican que aumenta desde la base hasta la copa, como el realizado por Valverde (2017) en *Eucalyptus globulus*, debido al rápido crecimiento de esta especie o a que aumentan hasta la tercera parte del árbol para luego disminuir (Goché, 2001). Tal como se observa en la Tabla 21, la densidad básica promedio del fuste es de 0,6702 g/cm³, mientras que la densidad con valor más alto se observó en el tercio bajo del fuste con 0,6793 g/cm³. Este resultado se debe a que la madurez en los individuos conlleva a presentar una mayor cantidad de duramen en la parte basal del fuste. Asimismo, corrobora lo

mencionado por Silva & Nívar (2012) que mencionan que la densidad básica varía a lo largo del fuste y de la corteza hacia el centro del fuste, lo que se debe a la presencia de madera nueva en las partes altas del fuste; a diferencia de la parte basal o baja del fuste donde la madera presenta un rango de edades desde el nacimiento del árbol.

Por otro lado, se relacionó el DAP con la densidad, la cual se presenta en la Figura 24, donde se observa que a mayor DAP se suele encontrar una mayor densidad, pues como afirman Silva & Nívar (2012), a mayor edad del árbol desarrolla un mayor diámetro y con ello una mayor cantidad de duramen, parte que presenta mayor densidad que la albura.

Sin embargo, la variación de densidad además de deberse a la edad del árbol, también depende del sitio, así como de la existencia de madera de compresión (Goché, 2001).

La densidad promedio calculada indica que según la Clasificación de Maderas Peruanas para Uso Estructural (Dirección Nacional de Construcción, 2014), se trata de una especie perteneciente al Grupo B, que comprende las maderas de densidad media y mediana resistencia, cuyas densidades se encuentran entre el rango de 0,56 a 0,70 g/cm³.

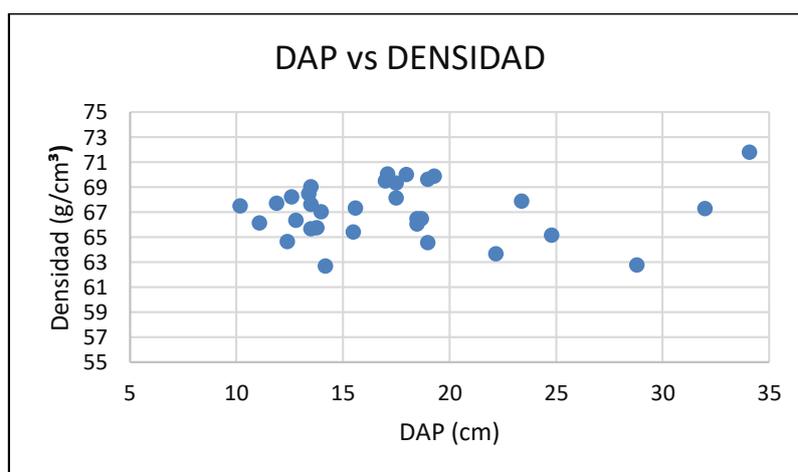


Figura 24. Relación de densidad básica promedio con DAP

4.5.6. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS COMPONENTES DEL ÁRBOL (FUSTE, RAMAS Y HOJARASCA)

Para la determinación del contenido de humedad de cada componente del árbol, se utilizaron los promedios obtenidos anteriormente de cada muestra analizada.

Dicho promedio se presenta en la Tabla 22.

Tabla 22: Contenido de humedad promedio del fuste, ramas y hojarasca.

Componente	%CH
Sección Baja del fuste	71,54
Sección media del fuste	71,77
Sección alta del fuste	73,77
Promedio fuste	72,36
Ramas	76,14
Hojarasca	97,32

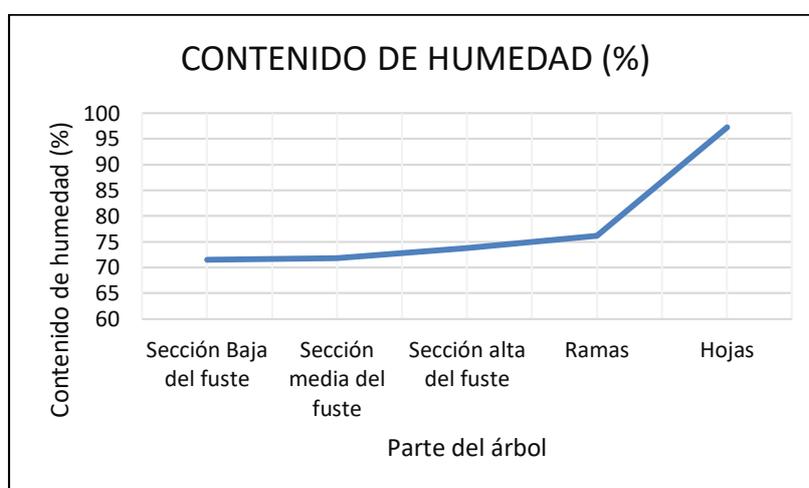


Figura 25. Contenido de humedad promedio del fuste, ramas y hojarasca.

De los resultados de la Tabla 22, se puede decir que el contenido de humedad promedio del fuste es de 72,36 por ciento y que hay un mayor contenido de humedad en la hojarasca que en el resto del fuste.

Desch & Dinwoodie citados por Goché (2001), reportan que, con respecto a la variación en sentido longitudinal, los árboles tienen una mayor cantidad de agua en las partes altas comparadas con la encontrada en la base. Este resultado también depende de la ubicación del individuo, de la época del año en la que se toma el dato, entre otros.

El contenido de humedad promedio de ramas y hojarasca es de 76,14 por ciento y 97,32 por ciento, respectivamente. Dichos resultados también coinciden con el comportamiento habitual de los árboles, donde las ramas presentan un contenido de humedad mayor al fuste y la hojarasca presentan un contenido de humedad mayor al 90 por ciento (Goché, 2001).

4.5.7. DETERMINACIÓN DEL PESO SECO O BIOMASA SECA TOTAL DE CADA COMPONENTE

Para determinar la biomasa seca de los individuos fue necesario calcular antes la biomasa seca de cada tercio de los fustes, los datos obtenidos de la muestra seca se encuentran en el Anexo 6.

Para la determinación de la biomasa seca del fuste se realizó la suma de los promedios por cada sección del fuste (baja, media y alta), las cuales se presentan en la Tabla 23, donde se observa que la biomasa de la sección baja es mayor que la de la sección media y esta última es mayor que la de la sección alta, probablemente sea debido al mayor diámetro que existe en la base y por contener un mayor porcentaje de duramen.

Tabla 23: Promedio de biomasa seca por sección del fuste.

Sección del fuste	Promedio Biomasa seca (kg)
Baja	17,37
Media	13,86
Alta	11,32

Posteriormente se sumaron todas las partes y se calculó la biomasa seca del fuste, y de la copa (ramas y hojarasca), los resultados finales se observan en la Tabla 24.

Tabla 24: Biomasa seca total de fuste, ramas y hojarasca por individuo evaluado.

Individuo	DAP (cm)	Altura total (m)	Biomasa fuste (kg)	Biomasa ramas (kg)	Biomasa hojarasca (kg)	Biomasa total (kg)
U001	13,5	4,1	23,2702	21,0963	23,8093	68,1757
U002	10,2	4,35	12,4962	13,8320	12,6500	38,9782
U003	13,5	3,4	19,1869	29,8235	17,6503	66,6607
U004	13,4	4,24	25,4908	14,8304	15,0304	55,3515
U005	12,8	4,33	12,5470	26,2527	18,0853	56,8850
U006	18,5	4,835	27,9143	35,8448	22,6484	86,4075
U007	24,8	6,2	59,6076	49,1594	25,4662	134,2332
U008	17,5	5,24	40,9925	35,2622	17,7166	93,9713
U009	17,1	4,35	40,2637	42,3031	25,9842	108,5510
U010	19	6,22	47,5332	55,3082	26,3925	129,2339
U011	11,9	5,57	23,6568	23,8803	23,4138	70,9510
U012	18,7	6,06	40,0857	31,2152	24,3678	95,6687
U013	12,4	4,71	34,2732	13,2998	14,9294	62,5025
U014	23,4	5,22	44,7092	36,5705	41,7953	123,0749

Continuación

Individuo	DAP (cm)	Altura total (m)	Biomasa fuste (kg)	Biomasa ramas (kg)	Biomasa hojarasca (kg)	Biomasa total (kg)
U015	18,5	6,7	50,8352	50,7248	39,6678	141,2278
U016	15,5	6,58	31,8894	43,8650	30,1620	105,9164
U017	14,2	6,48	26,5720	37,8075	23,8170	88,1965
U018	13,8	5,66	23,9323	23,7899	18,0810	65,8031
U019	11,1	5,74	20,3305	21,7398	19,1400	61,2104
U020	34,1	6,22	123,3853	86,7933	49,6269	259,8055
U021	17,5	4,51	30,3861	24,3637	21,8732	76,6230
U022	15,6	6,09	26,6945	66,9273	24,4070	118,0288
U023	13,5	4,79	24,9850	18,5735	12,4976	56,0561
U024	12,6	5,17	25,7486	20,5712	11,1698	57,4897
U025	14	4,14	14,6505	24,1058	14,9067	53,6630
U026	17	6,34	40,7485	30,9240	27,4040	99,0765
U027	18	5,42	38,6613	32,5309	22,7085	93,9007
U028	19,3	5,44	33,9708	45,9076	24,0954	103,9739
U029	28,8	7,9	102,2944	64,0348	38,8350	205,1642
U030	19	5,58	29,9455	55,1704	41,9622	127,0781
U031	22,2	8,67	84,3197	54,0371	38,1778	176,5345
U032	32,1	8,2	147,2027	64,9338	45,9117	258,0482
U033	26	7,94	75,7026	133,8213	48,2978	257,8217
Promedio			42,5540	40,2818	26,1418	108,9777
Max			147,2027	133,8213	49,6269	259,8055
Min			12,4962	13,2998	11,1698	38,9782
CV (%)			73,36	60,45	41,67	55,39

Se obtuvo como biomasa seca promedio del fuste 42,55 kg, mientras que como biomasa promedio de la copa (ramas y hojarasca) se obtuvo 66,42 kg., por lo que la suma de ambos resulta el promedio por individuo, el cual es 108,98 kg. Asimismo, la suma de biomasa de los 33 individuos brinda un total de 3596,26 kg. Este resultado se encuentra por debajo del peso total obtenido en campo, el cual es de 6438,74 kg, por lo que el peso seco de los árboles es de 55,85 por ciento del peso húmedo.

Como se observa en la Tabla 24, los individuos con DAP mayor a 15 cm presentan un mayor contenido de biomasa en el fuste, seguido por biomasa de ramas y hojarasca, respectivamente. Mientras que, en los individuos con diámetro menor a 15 cm, es mayor la biomasa proveniente de las ramas.

En promedio el contenido de biomasa en los diferentes componentes de *Myrcianthes oreophila* se distribuyó en un 37,53 por ciento en el fuste; 36,93 por ciento en ramas y 25,54 por ciento en hojarasca.

Con respecto al promedio de biomasa que presentan los individuos y para poder brindar una idea acerca de esta por clase diamétrica, en la Tabla 25 se presenta la biomasa promedio por clase diamétrica de la muestra.

Tabla 25: Biomasa seca total promedio según clases diamétricas.

Clase diamétrica	Biomasa promedio (kg)	Diferencia con respecto a la clase diamétrica anterior (kg)	Aumento porcentual con respecto a la clase diamétrica anterior (%)
10 - 15 cm	61,6864	-	-
15 – 20 cm	106,1275	44,4411	41,88
20 – 25 cm	144,6142	38,4867	26,61
25 – 30 cm	231,4929	86,8787	37,53
30 – 35 cm	258,9268	27,4339	10,60

El desarrollo de los árboles se refleja tanto en altura como en diámetro, lo que influye directamente en la ganancia de biomasa. Tal como se observa en la Tabla 25, el incremento del diámetro tiene una relación positiva con respecto al incremento de la biomasa.

Tal como lo indica Arreaga (2002), en este tipo de relación se da una tendencia de crecimiento de tipo ascendente, en la cual la biomasa es mayor a medida que el DAP es mayor, al mismo tiempo la acumulación de biomasa en ramas aumenta a medida que lo hace el diámetro de copa. Sin embargo, el incremento porcentual de biomasa va siendo menor según van aumentando las clases diamétricas, iniciando con un aumento de 41,88 por ciento y culminando con un aumento porcentual de las clases diamétricas 25-30 cm hasta 30–35 cm de 10,60 por ciento.

4.5.8. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CADA INDIVIDUO

Los resultados obtenidos de cada sección a través la fórmula Smalian, se presentan en el Anexo 7.

Para la obtención del volumen de las ramas se utilizó el dato de biomasa seca y densidad básica de cada individuo, los resultados de volumen de fuste y ramas se presentan en la Tabla 26.

Tabla 26: Resumen de volumen según Smalian por cada componente del árbol

Individuo	DAP (cm)	Altura total (m)	Volumen del fuste (m³)	Volumen de ramas (m³)	Volumen total (m³)
U001	13,5	4,1	0,057632	0,029157	0,086789
U002	10,2	4,35	0,021749	0,020532	0,042282
U003	13,5	3,4	0,045217	0,046725	0,091941
U004	13,4	4,24	0,063883	0,023641	0,087524
U005	12,8	4,33	0,037069	0,040430	0,077499
U006	18,5	4,835	0,075679	0,052931	0,128610
U007	24,8	6,2	0,208228	0,075991	0,284219
U008	17,5	5,24	0,092817	0,053944	0,146761
U009	17,1	4,35	0,096361	0,064498	0,160859
U010	19	6,22	0,131672	0,090061	0,221733
U011	11,9	5,57	0,056824	0,037964	0,094787
U012	18,7	6,06	0,111908	0,044812	0,156719
U013	12,4	4,71	0,056996	0,019759	0,076756
U014	23,4	5,22	0,143640	0,057062	0,200702
U015	18,5	6,7	0,146548	0,082015	0,228563
U016	15,5	6,58	0,079618	0,070850	0,150468
U017	14,2	6,48	0,074414	0,060113	0,134528
U018	13,8	5,66	0,069379	0,037488	0,106867
U019	11,1	5,74	0,051704	0,034240	0,085944
U020	34,1	6,22	0,338057	0,128621	0,466678
U021	17,5	4,51	0,083755	0,038207	0,121963
U022	15,6	6,09	0,076070	0,100932	0,177002
U023	13,5	4,79	0,063637	0,030081	0,093718
U024	12,6	5,17	0,064282	0,031741	0,096023
U025	14	4,14	0,037978	0,035572	0,073550
U026	17	6,34	0,087304	0,049362	0,136666
U027	18	5,42	0,110578	0,047348	0,157926
U028	19,3	5,44	0,087329	0,066478	0,153808
U029	28,8	7,9	0,280263	0,108165	0,388428
U030	19	5,58	0,074112	0,074655	0,148766
U031	22,2	8,67	0,239027	0,090326	0,329353
U032	32,1	8,2	0,445762	0,100214	0,545976
U033	26	7,94	0,215156	0,222424	0,437580
Promedio			0,115898	0,062616	0,178515
Max			0,445762	0,222424	0,545976
Min			0,021749	0,019759	0,042282
CV (%)			0,8117	0,6342	0,6939

Según se indica en la Tabla 26, el volumen promedio por árbol para esta especie es de 0,1785 m³, por lo que se puede decir, que la especie presenta un volumen relativamente bajo

comparado a otras especies de la misma familia como el eucalipto, cuyo volumen promedio en la primera clase diamétrica según Meza (2013) es de 0,259 m³, dado que se trata de una especie con madera pesada, pero de porte bajo.

Asimismo, los datos del volumen de fuste presentan un coeficiente de variabilidad bastante alto y cercano a uno, observándose que existe una mayor variación de datos del volumen de fuste con respecto al volumen de ramas.

El volumen total calculado a partir de la suma de todos los individuos evaluados es de 5,890988 m³.

En la Tabla 27 se presenta el cálculo del volumen promedio por clase diamétrica, donde a mayor diámetro quien más aporta volumen son las ramas.

Tabla 27: Volumen promedio según clase diamétrica.

Clase diamétrica	Volumen promedio (m³)	Diferencia con respecto a la clase diamétrica anterior (m³)	Aumento Porcentual con respecto a la clase diamétrica anterior (%)
10 - 15 cm	0,088323692	-	-
15 – 20 cm	0,160757231	0,072433539	45,06
20 – 25 cm	0,271424667	0,110667436	40,77
25 – 30 cm	0,413004	0,141579333	34,28
30 – 35 cm	0,506327	0,093323	18,43

El aumento porcentual del volumen entre clases diamétricas de cada 5 cm, va siendo menor según aumentan dichas clases. El volumen de los individuos desde la clase diamétrica 10- 15 cm hasta 15–20 cm es de 45,06 por ciento, mientras que la última clase diamétrica de 25-30 hasta 30-35 cm presenta un aumento porcentual de 18,43 por ciento.

- Comparación entre Volumen calculado con Smalian y volumen calculado a través de la densidad

En la Tabla 28 se comparan los resultados de volumen calculados a través de las mediciones de cada sección, utilizando la fórmula de Smalian con el volumen calculado mediante los resultados de la biomasa real obtenida en campo y dividido entre el promedio de densidad calculada.

Tabla 28: Comparación entre volumen de fuste obtenido a través de Smalian y Volumen obtenido a través de la biomasa y densidad.

Individuo	DAP (cm)	Altura total (m)	Volumen Smalian (m³)	Volumen = Biomasa (kg) / densidad (670,19596 kg/m³)	Diferencia entre volúmenes calculados (m³)
U001	13,5	4,1	0,057632	0,034721	0,022911
U002	10,2	4,35	0,021749	0,018646	0,003103
U003	13,5	3,4	0,045217	0,028629	0,016588
U004	13,4	4,24	0,063883	0,038035	0,025848
U005	12,8	4,33	0,037069	0,018721	0,018348
U006	18,5	4,835	0,075679	0,041651	0,034028
U007	24,8	6,2	0,208228	0,088941	0,119287
U008	17,5	5,24	0,092817	0,061165	0,031652
U009	17,1	4,35	0,096361	0,060078	0,036283
U010	19	6,22	0,131672	0,070924	0,060748
U011	11,9	5,57	0,056824	0,035298	0,021526
U012	18,7	6,06	0,111908	0,059812	0,052096
U013	12,4	4,71	0,056996	0,051139	0,005857
U014	23,4	5,22	0,14364	0,066715	0,076925
U015	18,5	6,7	0,146548	0,075851	0,070697
U016	15,5	6,58	0,079618	0,047582	0,032036
U017	14,2	6,48	0,074414	0,039648	0,034766
U018	13,8	5,66	0,069379	0,035709	0,033670
U019	11,1	5,74	0,051704	0,030335	0,021369
U020	34,1	6,22	0,338057	0,184103	0,153954
U021	17,5	4,51	0,083755	0,045339	0,038416
U022	15,6	6,09	0,07607	0,039831	0,036239
U023	13,5	4,79	0,063637	0,037280	0,026357
U024	12,6	5,17	0,064282	0,038419	0,025863
U025	14	4,14	0,037978	0,021860	0,016118
U026	17	6,34	0,087304	0,060801	0,026503
U027	18	5,42	0,110578	0,057687	0,052891
U028	19,3	5,44	0,087329	0,050688	0,036641
U029	28,8	7,9	0,280263	0,152634	0,127629
U030	19	5,58	0,074112	0,044682	0,029430
U031	22,2	8,67	0,239027	0,125814	0,113213
U032	32,1	8,2	0,445762	0,219642	0,226120
U033	26	7,94	0,215156	0,112956	0,102200
Promedio			0,115898	0,063495	0,052403
Max			0,445762	0,219641	0,22612
Min			0,021749	0,018646	0,003103
CV			0,8117	0,7336	0,002345

Como se observa en la Tabla 28, aunque ambos conjuntos de datos mostrados brindan los resultados para el volumen de los individuos muestreados, dichos resultados presentan una gran diferencia en el volumen promedio, máximo y mínimo. Asimismo, se puede observar que existe una mayor variabilidad en el volumen obtenido a través de la formula Smalian, mientras que existe una menor dispersión en los datos de los resultados para el volumen calculado mediante el uso de la biomasa.

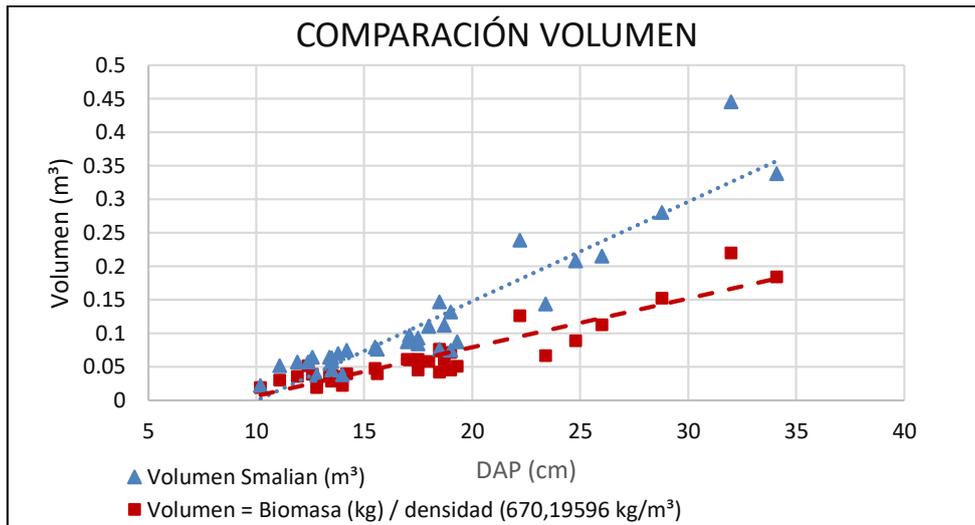


Figura 26. Comparación entre volumen calculado con Smalian (Volumen real) y volumen calculado a través de la biomasa y densidad.

Como se observa en la Figura 26, el volumen calculado utilizando la densidad y biomasa subestima en todos los casos el volumen calculado mediante la fórmula Smalian. Esto podría deberse a que la primera utilizó la densidad promedio de la madera y si bien esta fue determinada a través de su evaluación en diversas partes del árbol, es variable longitudinalmente en el árbol y depende además de su edad, el sitio, entre otros factores; por lo cual suele generar estimaciones menos precisas y resultados sesgados. Por ello, diversos autores recomiendan calcular el volumen a través de mediciones de cada una de las secciones. Eventualmente, podría mejorar si se determinara la densidad en diferentes secciones del fuste en lugar de utilizar un dato promedio, pues habría menos diferencias entre ambos volúmenes calculados.

Asimismo, el error generado en total, al calcular el volumen a través de la biomasa y densidad con respecto al volumen calculado a través de Smalian es $1,729317 \text{ m}^3$, lo que es en promedio $0,052404 \text{ m}^3$ por individuo.

4.6. ANÁLISIS DE VARIABLES

Como se observa en los siguientes gráficos (Figura 27 y Figura 28), existe una mayor variabilidad entre la altura del fuste y el DAP con respecto a la altura total y DAP, lo cual puede estar condicionado a que *Myrcianthes oreophila* es una especie con copa abundante, y también a la variabilidad de las pendientes de los lugares en las que los individuos se desarrollaron.

Asimismo, como se observa en la Figura 28, existe una relación más fuerte entre el DAP y el diámetro de copa, lo que corrobora lo concluido por Malleux (1982) que menciona que existe una relación significativa tanto lineal como cuadrática entre ambas variables, debido a que mientras el crecimiento vertical se detiene en algún momento del desarrollo de los árboles, el crecimiento horizontal continúa, aunque de forma más lenta.

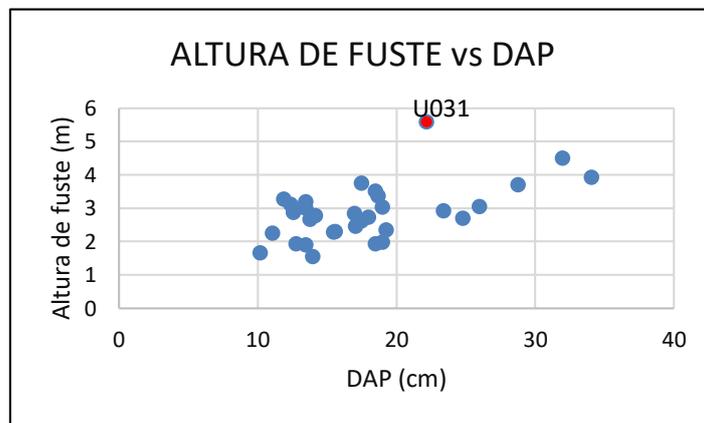


Figura 27. Relación entre altura de fuste y DAP.

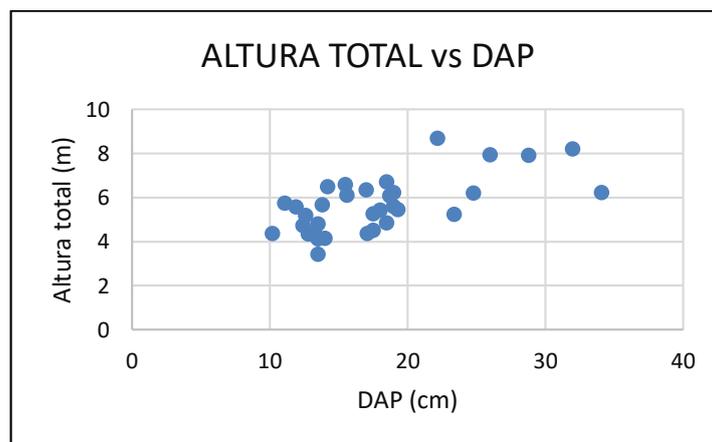


Figura 28. Relación entre altura total y DAP.

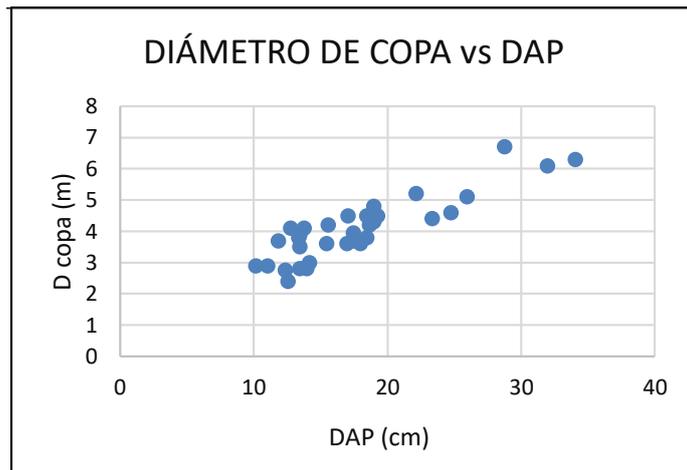


Figura 29. Relación entre diámetro de copa y DAP.

a. Relación de biomasa – variables independientes:

Tal como se observa en las Figuras desde la 30 hasta la 33, se realizó el análisis de variables comparando las variables independientes (DAP, altura de fuste, altura total y diámetro de copa) con la variable dependiente (biomasa), lo que muestra de forma general con cuál de las variables independientes existe una mayor relación.

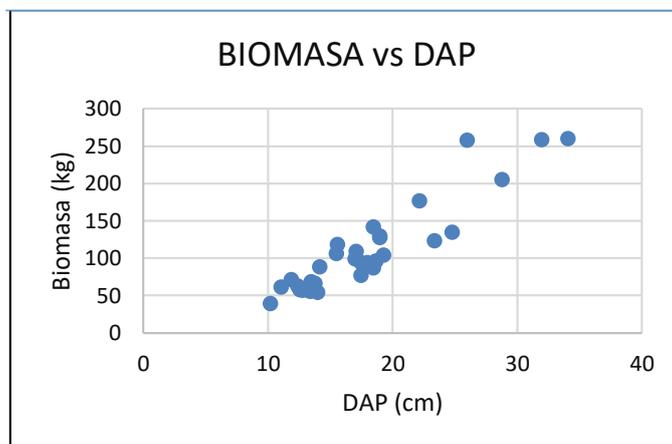


Figura 30. Relación entre variable independiente (DAP) y variable dependiente (biomasa).

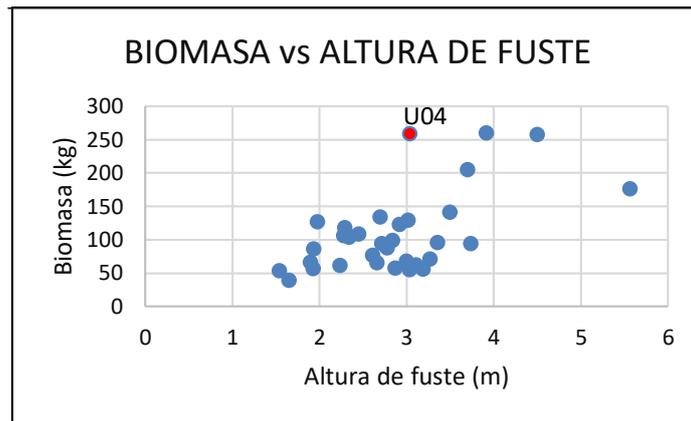


Figura 31. Relación entre variable independiente (altura de fuste) y variable dependiente (biomasa).

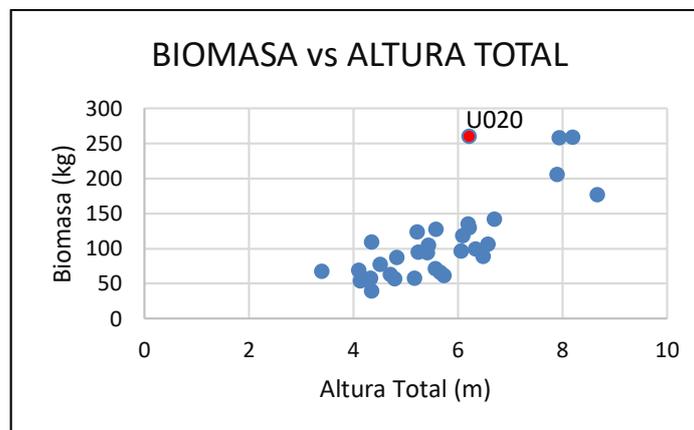


Figura 32. Relación entre variable independiente (altura total) y variable dependiente (biomasa).

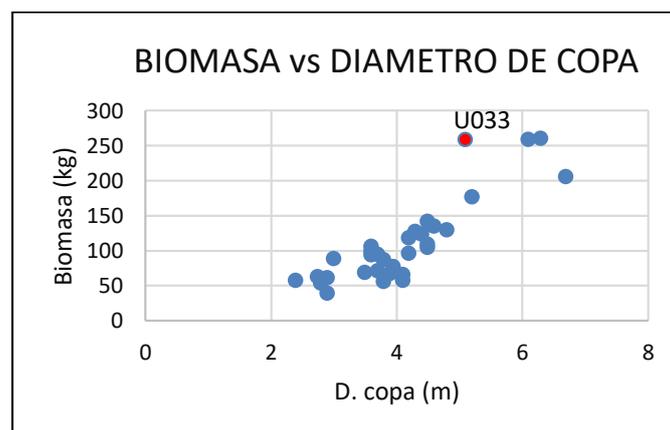


Figura 33. Relación entre variable independiente (diámetro de copa) y variable dependiente (biomasa).

Existe una menor dispersión de datos entre las variables DAP-biomasa, altura total-biomasa y copa-biomasa. Por otro lado, se observa que la relación altura de fuste – biomasa tiene una

mayor dispersión, pues como lo indica Aguayo (2007) la altura del fuste no es una variable que represente un buen ajuste para estimar la biomasa de árboles en general.

b. Relación de volumen – variables independientes

Al igual que con la biomasa, se evaluó la relación entre las variables independientes y el volumen para determinar con que variables se trabajarán posteriormente las ecuaciones.

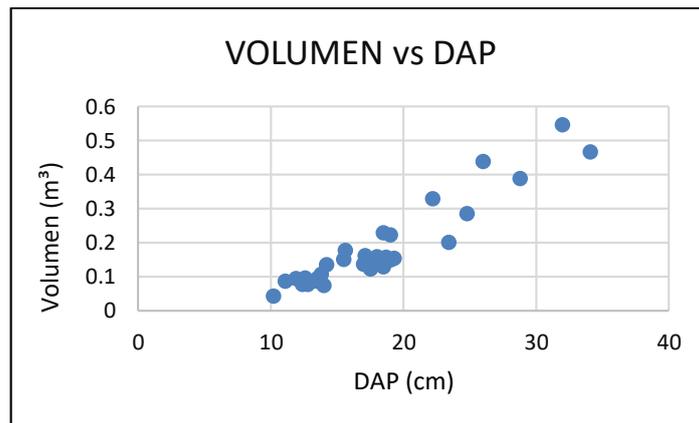


Figura 34. Relación entre variable independiente (DAP) y variable dependiente (volumen).

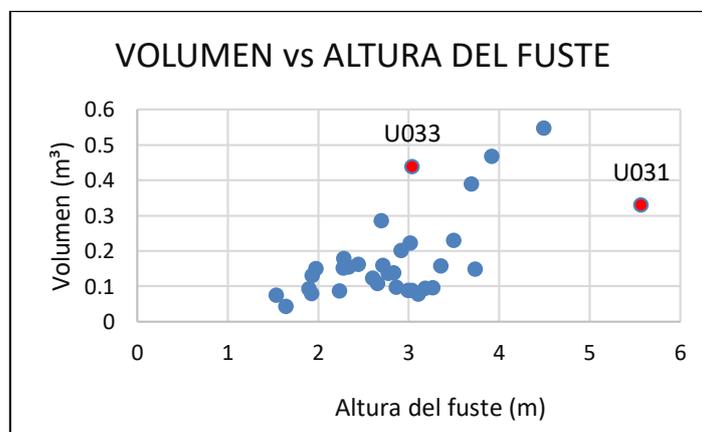


Figura 35. Relación entre variable independiente (altura de fuste) y variable dependiente (volumen).

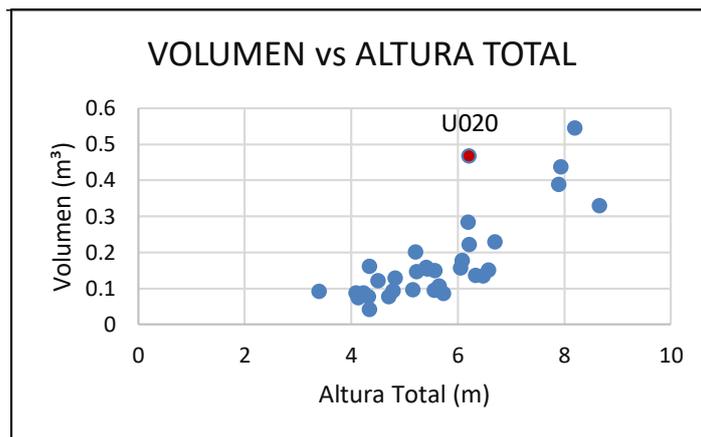


Figura 36. Relación entre variable independiente (altura total) y variable dependiente (volumen).

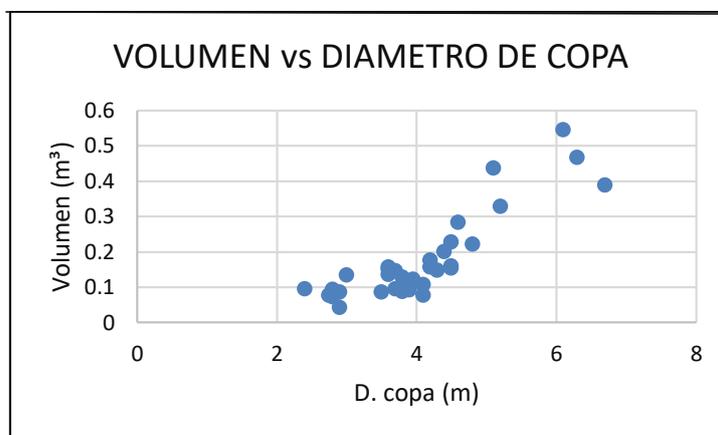


Figura 37. Relación entre variable independiente (diámetro de copa) y variable dependiente (volumen).

Como se observa en las Figuras 34, 35, 36 y 37, al igual que con la biomasa existe una mayor relación entre las variables DAP-volumen, altura total-volumen y copa-biomasa.

Mientras que la relación volumen – altura del fuste aún presenta una alta dispersión de datos, es mejor en comparación con la relación biomasa-altura del fuste. En los gráficos se corrobora lo mencionado por Malleux (1982), pues la altura total no tiene una estrecha relación con el volumen o la biomasa a diferencia del DAP y el diámetro de copa, siendo además su medición muy laboriosa.

Asimismo, Arias (2004) concluye que las relaciones altura-diámetro dependen de la calidad de sitio y la densidad, por lo que dichas relaciones son específicas para cada rodal.

En la Tabla 29 se presentan los resultados finales de las variables independientes y dependientes.

Tabla 29: Cuadro resumen de variables independientes y dependientes.

Individuo	DAP (cm)	Altura total (m)	Diámetro de copa (m)	Volumen total (m³)	Biomasa total (kg)
U001	13,5	4,1	3,5	0,086789	68,1757
U002	10,2	4,35	2,9	0,042282	38,9782
U003	13,5	3,4	3,9	0,091941	66,6607
U004	13,4	4,24	3,8	0,087524	55,3515
U005	12,8	4,33	4,1	0,077499	56,8850
U006	18,5	4,835	3,8	0,128610	86,4075
U007	24,8	6,2	4,6	0,284219	134,2332
U008	17,5	5,24	3,7	0,146761	93,9713
U009	17,1	4,35	4,5	0,160859	108,5510
U010	19	6,22	4,8	0,221733	129,2339
U011	11,9	5,57	3,7	0,094787	70,9510
U012	18,7	6,06	4,2	0,156719	95,6687
U013	12,4	4,71	2,8	0,076756	62,5025
U014	23,4	5,22	4,4	0,200702	123,0749
U015	18,5	6,7	4,5	0,228563	141,2278
U016	15,5	6,58	3,6	0,150468	105,9164
U017	14,2	6,48	3	0,134528	88,1965
U018	13,8	5,66	4,1	0,106867	65,8031
U019	11,1	5,74	2,9	0,085944	61,2104
U020	34,1	6,22	6,3	0,466678	259,8055
U021	17,5	4,51	3,9	0,121963	76,6230
U022	15,6	6,09	4,2	0,177002	118,0288
U023	13,5	4,79	2,8	0,093718	56,0561
U024	12,6	5,17	2,4	0,096023	57,4897
U025	14	4,14	2,8	0,073550	53,6630
U026	17	6,34	3,6	0,136666	99,0765
U027	18	5,42	3,6	0,157926	93,9007
U028	19,3	5,44	4,5	0,153808	103,9739
U029	28,8	7,9	6,7	0,388428	205,1642
U030	19	5,58	4,3	0,148766	127,0781
U031	22,2	8,67	5,2	0,329353	176,5345
U032	32,1	8,2	6,1	0,545976	258,0482
U033	26	7,94	5,1	0,437580	257,8217

Luego de evaluar las variables con las que se realizaría posteriormente la regresión, se procedió a analizar los datos de los 33 individuos seleccionados. Para detectar posibles anomalías en los datos se examinó el gráfico de dispersión entre DAP-biomasa, altura total-biomasa y copa-biomasa.

Para el caso de volumen se realizó el mismo procedimiento, examinándose el gráfico de dispersión entre DAP-volumen, altura total-volumen y copa-volumen.

En el análisis de las Figuras 30 a la 37, se observa que en varios de ellos se repiten como datos atípicos aquellos de los individuos U020 y U033, los cuales fueron descartados para la elaboración de las ecuaciones con el fin de obtener una muestra homogénea.

En la Tabla 30 se presentan los individuos descartados por presentar valores atípicos.

Tabla 30: Individuos con datos atípicos.

Individuo	DAP (cm)	Altura total (m)	Diámetro de copa (m)	Volumen total (m³)	Biomasa total (kg)
U020	34,1	6,22	6,3	0,466678	259,8055
U033	26	7,94	5,1	0,437580	257,8217

En el caso de los individuos U020 y U033, se observó que diferían mucho con respecto a la biomasa y volumen de individuos similares, pues ambos presentaban copas muy grandes al compararse con individuos de la misma clase diamétrica. Asimismo, el individuo U020 tenía un porte bastante bajo.

Al eliminar los dos datos atípicos, se trabajó con 31 datos del total de los individuos seleccionados. Obteniendo como promedio de biomasa seca por árbol 99,31 kg y un promedio de volumen estimado por individuo de 0,16 m³.

4.7. ELABORACIÓN DE LA ECUACIÓN DE BIOMASA Y VOLUMEN

4.7.1. SELECCIÓN DE MODELOS

Dado que para especies endémicas de zonas andinas no existen muchas ecuaciones derivadas de investigaciones que puedan servir como base para el presente estudio, se seleccionaron diversos modelos de la literatura y se utilizaron combinaciones de las variables apropiadas y elegidas. En este caso, la altura de fuste será utilizada solo en ecuaciones con menos variables, por la relación que se observó con las variables dependientes.

4.8. ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Cada uno de los 122 modelos propuestos en la metodología fue sometido al análisis de regresión.

Como ejemplo se presenta el análisis de regresión obtenido del modelo de la ecuación:

$$B = b_0 + b_1Ht + b_2DAP.$$

Tabla 31: Estadísticos de la regresión de ecuación modelo. $B = b_0 + b_1Ht + b_2DAP$

Estadísticos de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,96224055
Coefficiente de determinación R^2	0,92590688
R^2 ajustado	0,92061452
Error típico	13,4924511
Observaciones	31

Tabla 32: Análisis de varianza de la regresión de ecuación modelo.

Análisis de Varianza					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Valor crítico de F
Regresión	2	63698,496	31849,248	174,951422	1,5028E-16
Residuos	28	5097,29463	182,046237		
Total	30	68795,7906			

Tabla 33: Coeficientes de variables de la regresión de ecuación modelo.

Coeficientes de variables						
	Coef.	Error Típico	Estad. T	Probab.	Inf. 95%	Sup. 95%
Int.	-89,4513	11,4207	-7,8323	1,5665E-08	-112,8456	-66,0569
Ht	14,1068	2,6892	5,2457	1,417E-05	8,5982	19,6154
DAP	6,4650	0,6586	9,8149	1,4514E-10	5,1157	7,8142

Observando los coeficientes resultantes en la Tabla 33, se obtiene la siguiente ecuación para el modelo:

$$B = -89,4513 + 14,1069Ht + 6,4650DAP$$

4.8.1. ANÁLISIS DE REGRESIÓN DE BIOMASA

Con esta información se procedió a realizar el análisis de regresión para cada uno de los modelos.

a. Coeficiente de determinación R^2

La Tabla 34 muestra los 122 modelos ecuaciones y la condición de aceptación o rechazo según el coeficiente de determinación.

Como se puede observar 112 ecuaciones presentaron coeficientes de determinación mayores a 0,8; lo que indica una buena asociación lineal entre variables (Alvarado & Obagui 2008).

Entre las 10 ecuaciones que fueron rechazadas por no presentar una buena asociación lineal entre las variables; los modelos 14, 15 y 16 presentaron un R^2 menor a 0,4; lo que corrobora lo mencionado por Aguayo (2007) de que la variable altura de fuste no representa un buen ajuste para las ecuaciones de biomasa y el volumen.

Tabla 34: Modelos de ecuaciones originales para la estimación de biomasa y su coeficiente de determinación R²

		COEFICIENTES						
	MODELOS	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	R ²	Condición
1	$B = b_0 + b_1 DAP$	-50,3962	8,7664				0,8538	Aceptado
2	$B = b_0 + b_1 DAP^{1.5}$	3,6759	1,3152				0,8621	Aceptado
3	$B = b_0 + b_1 DAP^2$	31,1337	0,2156				0,8596	Aceptado
4	$B = b_0 + b_1 DAP^{2.5}$	47,7280	0,0367				0,8479	Aceptado
5	$B = b_0 + b_1 DAP^3$	58,7254	0,0063				0,8293	Aceptado
6	$B = b_0 + b_1 \ln(DAP)$	-342,7792	157,8745				0,8038	Aceptado
7	$B = b_0 + b_1 \lg(DAP)$	-342,7792	363,5195				0,8038	Aceptado
8	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2$	0,3957	3,2418	0,1378			0,8626	Aceptado
9	$B = b_0 + b_1 Ht$	-77,3168	31,7906				0,6710	Rechazado
10	$B = b_0 + b_1 Ht^2$	11,9371	2,7015				0,7087	Rechazado
11	$B = b_0 + b_1 Ht^3$	43,1946	0,2843				0,7189	Rechazado
12	$B = b_0 + b_1 \ln(Ht)$	-192,4185	172,4213				0,6071	Rechazado
13	$B = b_0 + b_1 \lg(Ht)$	-192,4185	397,0147				0,6071	Rechazado
14	$B = b_0 + b_1 Hf$	-1,1777	35,5468				0,3824	Rechazado
15	$B = b_0 + b_1 Hf^2$	53,1734	5,3257				0,3926	Rechazado
16	$B = b_0 + b_1 \ln(Hf)$	0,2357	99,0335				0,3369	Rechazado
17	$B = b_0 + b_1 Dc$	-73,8419	43,4987				0,7945	Rechazado
18	$B = b_0 + b_1 Dc^2$	17,3110	4,8875				0,8262	Aceptado
19	$B = b_0 + b_1 Dc^3$	49,8147	0,6589				0,8122	Aceptado
20	$B = b_0 + b_1 \ln(Dc)$	-132,9325	171,5253				0,7142	Rechazado
21	$B = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP$	-89,4513	14,1069	6,4650			0,9259	Aceptado
22	$B = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP^{1.5}$	-48,2865	13,7579	0,9790			0,9302	Aceptado
23	$B = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP^2$	-28,2559	13,8421	0,1603			0,9290	Aceptado

Continuación

		COEFICIENTES						
	MODELOS	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	R ²	Condición
25	$B = b_0 + b_1Ht^2 + b_2DAP$	-47,5260	1,2580	6,2169			0,9341	Aceptado
26	$B = b_0 + b_1Ht^3 + b_2DAP$	-32,0926	0,1341	6,1458			0,9362	Aceptado
27	$B = b_0 + b_1Ht^2 + b_2DAP^2$	11,0802	1,2185	0,1545			0,9333	Aceptado
28	$B = b_0 + b_1Ht^2 + b_2DAP^{1.5}$	-8,6749	1,2197	0,9429			0,9362	Aceptado
29	$B = b_0 + b_1Ht^3 + b_2DAP^3$	44,4501	0,1367	0,0044			0,9131	Aceptado
30	$B = b_0 + b_1Ht^2 + b_2DAP^3$	28,8817	1,3056	0,0044			0,9166	Aceptado
31	$B = b_0 + b_1DAPHt$	9,4437	0,9087				0,9347	Aceptado
32	$B = b_0 + b_1DAP + b_2DAPHt$	-1,6471	1,4011	0,7790			0,9374	Aceptado
33	$B = b_0 + b_1DAP^{1.5} + b_2DAPHt$	7,3951	0,1895	0,7902			0,9366	Aceptado
34	$B = b_0 + b_1DAP^2 + b_2DAPHt$	10,9731	0,0249	0,8137			0,9359	Aceptado
35	$B = b_0 + b_1Ht + b_2DAPHt$	10,9731	0,0249	0,8137			0,9359	Aceptado
36	$B = b_0 + b_1DAP^2Ht$	49,3328	0,0260				0,9027	Aceptado
37	$B = b_0 + b_1DAPHt^2$	41,2740	0,0964				0,9001	Aceptado
38	$B = b_0 + b_1DAP^2Ht^2$	62,0239	0,0030				0,8820	Aceptado
39	$B = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^2Ht$	-0,2647	4,8697	0,0001			0,9324	Aceptado
40	$B = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^{1.5}Ht$	19,1592	1,2909	0,1356			0,9289	Aceptado
41	$B = b_0 + b_1Ht + b_2DAP^2Ht$	13,0121	8,0609	0,0216			0,9199	Aceptado
42	$B = b_0 + b_1Ht + b_2DAPHt^2$	20,3537	-3,1375	0,9747			0,9318	Aceptado
43	$B = b_0 + b_1DAP^2 + b_2DAP^2Ht$	41,7117	0,1352	0,404E-05			0,9215	Aceptado
44	$B = b_0 + b_1DAPHt + b_2DAP^2Ht$	11,4466	0,8608	0,0014			0,9348	Aceptado
45	$B = b_0 + b_1DAP^2 + b_2DAPHt$	10,9731	0,0249	0,8137			0,9359	Aceptado
46	$B = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^3Ht$	-0,6280	4,9487	0,0004			0,8862	Aceptado
47	$B = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^2$	0,3957	3,2418	0,1378			0,8626	Aceptado

Continuación

		COEFICIENTES						
	MODELOS	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	R ²	Condición
49	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 + b_3 DAP^2 Ht$	-21,0715	4,3263	1,0001	0,0074		0,9386	Aceptado
50	$B = b_0 + b_1 DAP^3 + b_2 Ht + b_3 DAP^2 Ht$	20,3276	-0,0014	6,1375	0,0279		0,9202	Aceptado
51	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^2 + b_3 DAP^2 Ht$	6,8602	0,1792	1,3212	-0,0036		0,9336	Aceptado
52	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht + b_3 DAPHt^2$	0,8370	0,1215	7,4101	0,0314		0,9322	Aceptado
53	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 + b_3 DAPHt$	-12,9112	2,5487	0,3297	0,5869		0,9378	Aceptado
54	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht + b_3 DAPHt$	26,9935	-0,0230	-5,4539	1,1113		0,9365	Aceptado
55	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^2 + b_3 DAPHt$	11,1744	-0,0389	-0,6230	1,2192		0,9362	Aceptado
56	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^3 + b_3 DAPHt$	-13,3408	3,2278	0,0552	0,4717		0,9315	Aceptado
57	$B = b_0 + b_1 Ht^3 + b_2 DAPHt$	8,1823	-0,0252	0,9717			0,9359	Aceptado
58	$B = b_0 + b_1 DAP^3 + b_2 DAPHt$	11,6866	0,0004	0,8620			0,9351	Aceptado
59	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht + b_3 DAPHt$	-4,7288	1,5543	0,5374	0,7535		0,9374	Aceptado
60	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht + b_3 DAPHt^2$	-22,3739	4,2395	3,6506	0,0482		0,9390	Aceptado
61	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht + b_3 DAP^2 Ht$	-42,3441	3,7742	10,4187	0,0101		0,9357	Aceptado
62	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^2 + b_3 DAP^2 Ht^2$	13,0129	0,1483	1,1169	0,0055		0,9334	Aceptado
63	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAPHt$	-13,7824	2,6407	-0,0378	0,8086		0,9380	Aceptado
64	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 + b_3 DAP^2 Ht$	-9,7816	4,4074	-0,0069	0,0407		0,9378	Aceptado
65	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^{1.5} + b_3 DAP^2 Ht$	-121,2004	31,3565	-5,4343	0,0417		0,9424	Aceptado
66	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAPHt^2$	-23,0223	6,0777	-0,0658	0,0653		0,9395	Aceptado
67	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 + b_3 DAPHt^2$	-12,6186	4,5985	-0,0008	0,0644		0,9389	Aceptado
68	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAP^2 Ht$	-65,3472	13,3506	-0,4536	0,0417		0,9413	Aceptado
69	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 + b_3 DAPHt$	-6,6201	1,7293	-0,0004	0,7981		0,9376	Aceptado
70	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAPHt + b_3 DAP^2 Ht$	-4,4474	1,5023	0,8174	-0,0014		0,9375	Aceptado
71	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAPHt + b_3 DAP^2 Ht$	5,2726	0,0440	0,9052	-0,0049		0,9364	Aceptado
72	$B = b_0 + b_1 DAP^3 + b_2 DAPHt + b_3 DAP^2 Ht$	5,5982	0,0017	1,0327	-0,0101		0,9356	Aceptado

Continuación

		COEFICIENTES						
	MODELOS	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	R ²	Condición
74	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAPHt^2 + b_3 DAP^2 Ht$	17,5609	0,2179	0,1058	-0,0265		0,9357	Aceptado
75	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 Ht$	-51,3899	2,5058	0,1001	13,7306		0,9309	Aceptado
76	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 + b_3 Ht$	-60,1196	4,2039	0,0018	13,7032		0,9321	Aceptado
77	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 Ht^2$	-20,4085	3,3391	0,0735	1,2202		0,9367	Aceptado
78	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAP^3 + b_3 Ht$	-32,6327	0,1990	-0,0012	13,7694		0,9296	Aceptado
79	$B = b_0 + b_1 Ln(Ht) + b_2 Ln(DAP)$	-367,0931	79,8532	118,3131			0,8827	Aceptado
80	$B = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Ht$	-300,3968	76,9394	15,9989			0,9020	Aceptado
81	$B = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Ht^2$	-244,8307	73,7421	1,4297			0,9159	Aceptado
82	$B = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Ht^3$	-225,4250	72,9021	0,1532			0,9220	Aceptado
83	$B = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Lg_2(Ht)$	-367,0931	82,0084	55,3500			0,8827	Aceptado
84	$B = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAP^2$	-14,2918	16,9756	0,1456			0,8887	Aceptado
85	$B = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAP^{1,5}$	-31,9216	16,5971	0,8965			0,8891	Aceptado
86	$B = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAP^3$	-7,0623	20,5058	0,0039			0,8783	Aceptado
87	$B = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 DAP^{1,5}$	4,2774	2,1217	0,8177			0,8931	Aceptado
88	$B = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 Ht^2$	1,1598	3,3717	1,2857			0,9072	Aceptado
89	$B = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 Ht^3$	17,0891	3,3364	0,1330			0,9002	Aceptado
90	$B = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAPHt$	-17,0364	11,2978	0,7217			0,9488	Aceptado
91	$B = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 DAPHt$	7,7839	1,2233	0,7180			0,9453	Aceptado
92	$B = b_0 + b_1 Lg_2(Dc) + b_2 Lg_2(DAP)$	-299,0602	45,9836	76,3772			0,8364	Aceptado
93	$B = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Dc^2$	-172,0646	55,3253	2,8534			0,8881	Aceptado
94	$B = b_0 + b_1 Ln(Dc) + b_2 Ln(DAP)$	-299,0602	66,3403	110,1890			0,8364	Aceptado
95	$B = b_0 + b_1 Ln(Ht) + b_2 Ln(Dc) + b_3 Ln(DAP)$	-325,8704	77,3561	61,1434	75,5352		0,9110	Aceptado
96	$B = b_1 DAP^2 + b_2 DAP^3 Ht + b_3 DAPHt^2 + b_4 Ht^2$	16,9423	0,1528	-0,0002	0,0513	0,3996	0,9352	Aceptado
97	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAPHt + b_4 DAP^2 Ht$	-58,4086	11,8840	-0,3981	0,1162	0,0360	0,9414	Aceptado

Continuación

		COEFICIENTES						
MODELOS		b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	R ²	Condición
99	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Dc + b_3 Ht$	-101,8716	4,2469	14,1115	13,0482		0,9458	Aceptado
100	$B = b_0 + b_1 DAPHt + b_2 Dc$	-17,0413	0,7217	11,2988			0,9487	Aceptado
101	$B = b_0 + b_1 DAP^2 Ht + b_2 Dc$	9,2089	0,0196	13,1776			0,9206	Aceptado
102	$B = b_0 + b_1 DAP^3 Ht + b_2 Dc$	-0,0736	0,0005	19,9532			0,8883	Aceptado
103	$B = b_0 + b_1 DAPHt^2 + b_2 Dc$	-6,3500	0,0683	16,2072			0,9341	Aceptado
104	$B = b_0 + b_1 DAPHt^3 + b_2 Dc$	-7,2838	0,0068	20,1624			0,9150	Aceptado
105	$B = b_0 + b_1 DAP^2 Ht^2 + b_2 Dc$	7,9149	0,0021	16,4456			0,9138	Aceptado
106	$B = b_0 + b_1 DAPHt + b_2 Dc^2$	7,7811	0,7179	1,2235			0,9453	Aceptado
107	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht Dc$	8,3970	0,0938	2,6804			0,9414	Aceptado
108	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht Dc$	-28,0068	3,8411	2,7004			0,9463	Aceptado
109	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 Dc$	-14,2586	4,6390	0,2485			0,9451	Aceptado
110	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP Dc$	5,7957	1,7794	0,8753			0,8954	Aceptado
111	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 Dc$	1,6257	4,3263	0,0167			0,8804	Aceptado
112	$B = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP Dc$	-29,2392	12,3635	0,8299			0,9460	Aceptado
113	$B = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP Dc$	6,6369	1,0666	0,8066			0,9456	Aceptado
114	$B = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP^2 Dc$	-9,8321	13,7242	0,0230			0,9249	Aceptado
115	$B = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP Dc^2$	-11,5207	13,6121	0,1084			0,9210	Aceptado
116	$B = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP Dc^2$	27,6084	1,1643	0,1049			0,9183	Aceptado
117	$B = b_0 + b_1 Ht + b_2 Ht Dc$	12,0461	-3,1443	4,5814			0,9058	Aceptado
118	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^3 + b_3 Dc^2$	20,6894	0,1111	0,1146	1,2451		0,9416	Aceptado
119	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^3$	25,6263	0,1529	0,1285			0,9323	Aceptado
120	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht Dc^2$	34,5187	0,1000	0,3309			0,9152	Aceptado
121	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 Dc$	-14,2586	4,6390	0,2485			0,9451	Aceptado
122	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Hf$	64,8698	7,8430	10,6979			0,8789	Aceptado

Todos los modelos de ecuaciones aceptadas presentan un coeficiente de determinación alto, siendo los mayores aquellos que utilizan más de dos variables independientes, que tal como lo indican Barrena *et al* (1986) se da porque la variabilidad de la variable dependiente es explicada por un mayor número de variables, hecho que no significa que esta ecuación sea la mejor o la adecuada. Además, se puede notar que al ir aumentando una variable independiente al modelo, el R^2 aumenta, sobre todo cuando se incluyen copa y diámetro lo que podría deberse a la relación que existe entre estas dos variables.

b. Prueba de significancia Fisher “F”:

En la Tabla 35, se presenta el resultado de la Prueba F de las 112 ecuaciones de biomasa, cuya condición fue aceptada. El valor estadístico de F y el p-valor de todos los modelos aceptados y rechazados se presentan en el Anexo 8.

Tabla 35: Las ecuaciones originales para la estimación de biomasa aceptadas según el estadístico F.

Modelos	PRUEBA F	
	F	p-valor
1 B = -50,3962+8,7664DAP	169,342376	1,2337E-13
2 B = 3,6759+1,3152DAP ^{1.5}	181,355949	5,2351E-14
3 B = 31,1337+0,2156DAP ²	177,605724	6,8044E-14
4 B= 47,7280+0,0367DAP ^{2.5}	161,700331	2,1878E-13
5 B = 58,7254+0,0063DAP ³	140,913682	1,1783E-12
6 B = -342,7792+157,8745Ln(DAP)	118,8014	9,0261E-12
7 B = -342,7792+363,5195Lg(DAP)	118,8014	9,0261E-12
8 B = 0,3957+ 3,2418DAP+0,1378DAP ²	87,8878551	8,5522E-13
18 B = 17,3110+4,8875Dc ²	137,814712	1,5415E-12
19 B = 49,8147+0,6589Dc ³	125,385599	4,7749E-12
21 B = -89,4513+14,1069Ht+6,4650DAP	174,951422	1,5028E-16
22 B = -48,2865+13,7579Ht+0,9790DAP ^{1.5}	186,558431	6,5226E-17
23 B = -28,2559+13,8421Ht+0,1603DAP ²	183,118149	8,3104E-17
24 B = -13,3504+14,9917Ht+0,0046DAP ³	149,154763	1,1733E-15
25 B = -47,5260+1,2580Ht ² +6,2169DAP	198,351727	2,931E-17
26 B = -32,0926+0,1341Ht ³ +6,1458DAP	205,583638	1,834E-17
27 B = 11,0802+1,2185Ht ² +0,1545DAP ²	196,031353	3,4183E-17
28 B = -8,6749+1,2197Ht ² +0,9429DAP ^{1.5}	205,459684	1,8485E-17
29 B = 44,4501+0,1367Ht ³ +0,0044DAP ³	147,139743	1,3962E-15
30 B = 28,8817+1,3056Ht ² +0,0044DAP ³	153,775092	7,9361E-16
31 B = 9,4437+0,9087DAPHt	415,322738	9,8588E-19

Continuación

		PRUEBA F	
Modelos		F	p-valor
32	$B = -1,6471+1,4011DAP+0,7790DAPHt$	209,637449	1,4196E-17
33	$B = 7,3951+0,1895DAP^{1.5}+0,7902DAPHt$	206,89197	1,6876E-17
34	$B = 10,9731+0,0249DAP^2+0,8137DAPHt$	204,388313	1,9796E-17
35	$B = 10,9731+0,0249Ht+0,8137DAPHt$	205,935153	1,7934E-17
36	$B = 49,3328+0,0260DAP^2Ht$	269,000366	3,2837E-16
37	$B = 41,2740+0,0964DAPHt^2$	261,156104	4,841E-16
38	$B = 62,0239+0,0030DAP^2Ht^2$	216,82987	5,4072E-15
39	$B = -0,2647+4,8697DAP+0,0001DAP^2Ht$	192,977937	4,1962E-17
40	$B = 19,1592+1,2909DAP+0,1356DAP^{1.5}Ht$	183,013982	8,3721E-17
41	$B = 13,0121+8,0609Ht+0,0216DAP^2Ht$	160,843003	4,4537E-16
42	$B = 20,3537-3,1375Ht+b_20,9747DAPHt^2$	205,935153	1,7934E-17
43	$B = 41,7117+-0,1352DAP^2+0,000004DAP^2Ht$	129,865549	6,8296E-15
44	$B = 11,4466+0,8608DAPHt+0,0014DAP^2Ht$	200,841219	2,4897E-17
45	$B = 10,9731+0,0249DAP^2+0,8137DAPHt$	204,388313	1,9796E-17
46	$B = -0,6280+4,9487DAP+0,0004DAP^3Ht$	109,028286	6,1055E-14
47	$B = 0,3957+3,2418DAP+0,1378DAP^2$	87,8878551	8,5522E-13
48	$B = -20,0768+0,1315DAP^2+12,6025Ht+0,0041DAP^2Ht$	118,587714	1,1708E-15
49	$B = -21,0715+4,3263DAP+1,0001Ht^2+0,0074DAP^2Ht$	137,602063	1,803E-16
50	$B = 20,3276+-0,0014DAP^3+6,1375Ht+0,0279DAP^2Ht$	103,838626	6,1197E-15
51	$B = 6,8602+0,1792DAP^2+1,3212Ht^2-0,0036DAP^2Ht$	126,610919	5,1504E-16
52	$B = 0,8370+0,1215DAP^2+7,4101Ht+0,0314DAPHt^2$	123,816916	6,8171E-16
53	$B = -12,9112+2,5487DAP+0,3297Ht^2+0,5869DAPHt$	135,778913	2,134E-16
54	$B = 26,9935-0,0230DAP^2-5,4539Ht+1,1113DAPHt$	132,644199	2,8658E-16
55	$B = 11,1744-0,0389DAP^2-0,6230Ht^2+1,2192DAPHt$	132,104405	3,017E-16
56	$B = -13,3408+3,2278DAP+0,0552Ht^3+0,4717DAPHt$	137,024794	1,90142E-16
57	$B = 8,1823+-0,0252Ht^3+0,9717DAPHt$	204,327645	1,9873E-17
58	$B = 11,6866+0,0004DAP^3+0,8620DAPHt$	201,668614	2,3593E-17
59	$B = -4,7288+1,5543DAP+0,5374Ht+0,7535DAPHt$	134,802343	2,3377E-16
60	$B = -22,3739+4,2395DAP+3,6506Ht+0,0482DAPHt^2$	138,469309	1,6653E-16
61	$B = -42,3441+3,7742DAP+10,4187Ht+0,0101DAP^2Ht$	130,990448	3,3569E-16
62	$B = 13,0129+0,1483DAP^2+1,1169Ht^2+0,0055DAP^2Ht^2$	126,105523	5,416E-16
63	$B = -13,7824+2,6407DAP+-0,0378DAP^2+0,8086DAPHt$	136,144388	2,0628E-16
64	$B = -9,7816+4,4074DAP-0,0069DAP^3+0,0407DAP^2Ht$	135,597729	2,1703E-16
65	$B = -121,2004+31,3565DAP-5,4343DAP^{1.5}+0,0417DAP^2Ht$	147,283385	7,6187E-17
66	$B = -23,0223+6,0777DAP-0,0658DAP^2+0,0653DAPHt^2$	139,69941	1,489E-16
67	$B = -12,6186+4,5985DAP-0,0008DAP^3+0,0644DAPHt^2$	138,194219	1,7077E-16
68	$B = -65,3472+13,3506DAP-0,4536DAP^2+0,0417DAP^2Ht$	144,32287	9,8576E-17
69	$B = -6,6201+1,7293DAP-0,0004DAP^3+0,7981DAPHt$	135,343807	2,2223E-16
70	$B = -4,4474+1,5023DAP+0,8174DAPHt-0,0014DAP^2Ht$	134,97214	2,3009E-16

Continuación

		PRUEBA F	
Modelos		F	p-valor
71	$B = 5,2726+0,0440DAP^2+0,9052DAPHt-0,0049DAP^2Ht$	132,575326	2,8846E-16
72	$B = 5,5982+0,0017DAP^3+1,0327DAPHt-0,0101DAP^2Ht$	130,832156	3,4084E-16
73	$B = -12,9528+4,6224DAP+0,0731DAPHt^2-0,0056DAP^2Ht$	138,207816	1,7056E-16
74	$B = 17,5609+0,2179DAP^2+0,1058DAPHt^2-0,0265DAP^2Ht$	130,94405	3,3719E-16
75	$B = -51,3899+2,5058DAP+0,1001DAP^2+13,7306Ht$	121,179657	8,9308E-16
76	$B = -60,1196+4,2039DAP+0,0018DAP^3+13,7032Ht$	123,614664	6,9584E-16
77	$B = -20,4085+3,3391DAP+0,0735DAP^2+1,2202Ht^2$	133,188818	2,7214E-16
78	$B = -32,6327+0,1990DAP^2+0,0012DAP^3+ 13,7694Ht$	118,807876	1,144E-15
79	$B = -367,0931+79,8532Ln(Ht)+118,3131Ln(DAP)$	105,321454	9,3699E-14
80	$B = -300,3968+76,9394Lg_2(DAP)+15,9989Ht$	128,888869	7,513E-15
81	$B = -244,8307+73,7421Lg_2(DAP)+1,4297Ht^2$	152,542948	8,7988E-16
82	$B = -225,4250+72,9021Lg_2(DAP)+0,1532Ht^3$	165,451017	3,0942E-16
83	$B = -367,0931+82,0084Lg_2(DAP)+55,3500Lg_2(Ht)$	105,321454	9,3699E-14
84	$B = -14,2918+16,9756Dc+0,1456DAP^2$	111,750808	4,4941E-14
85	$B = -31,9216+16,5971Dc+0,8965DAP^{1.5}$	112,218061	4,2667E-14
86	$B = -7,0623+20,5058Dc+0,0039DAP^3$	101,002778	1,5699E-13
87	$B = 4,2774+2,1217Dc^2+0,8177DAP^{1.5}$	116,908288	2,5601E-14
88	$B = 1,1598+3,3717Dc^2+1,2857Ht^2$	136,872049	3,5097E-15
89	$B = 17,0891+3,3364Dc^2+0,1330Ht^3$	126,292963	9,7116E-15
90	$B = -17,0364+11,2978Dc+0,7217DAPHt$	259,173658	8,6228E-19
91	$B = 7,7839+1,2233Dc^2+0,7180DAPHt$	241,944497	2,1466E-18
92	$B = -299,0602+45,9836Lg_2(Dc)+76,3772Lg_2(DAP)$	71,597054	9,8032E-12
93	$B = -172,0646+55,3253Lg_2(DAP)+2,8534Dc^2$	111,147268	4,8072E-14
94	$B = -299,0602+66,3403Ln(Dc)+110,1890Ln(DAP)$	71,597054	9,8032E-12
95	$B = -325,8704+77,3561Ln(Ht)+61,1434Ln(Dc)+75,5352Ln(DAP)$	92,0992143	2,684E-14
96	$B = 16,9423+0,1528DAP^2-0,0002DAP^3Ht+0,0513DAPHt^2+0,3996Ht^2$	93,7959429	4,6813E-15
97	$B = -58,4086+11,8840DAP-0,3981DAP^2+0,1162DAPHt+0,0360DAP^2Ht$	104,403563	1,2747E-15
98	$B = 6,5510+0,4845DAP^{1.5}+1,2049Dc^2+0,2189DAPHt+0,0795Ht^3$	114,678549	4,0484E-16
99	$B = -101,8716+4,2469DAP+14,1115Dc+13,0482Ht$	157,014431	3,3764E-17
100	$B = -17,0413+0,7217DAPHt+11,2988Dc$	259,131488	8,6415E-19
101	$B = 9,2089+0,0196DAP^2Ht+13,1776Dc$	162,388701	3,9373E-16
102	$B = -0,0736+0,0005DAP^3Ht+19,9532Dc$	111,354806	4,697E-14
103	$B = -6,3500+0,0683DAPHt^2+16,2072Dc$	198,425401	2,9168E-17
104	$B = -7,2838+0,0068DAPHt^3+20,1624Dc$	150,609844	1,0361E-15
105	$B = 7,9149+0,0021DAP^2Ht^2+16,4456Dc$	148,375654	1,2546E-15
106	$B = 7,7811+0,7179DAPHt+1,2235Dc^2$	241,914745	2,1501E-18
107	$B = 8,3970+0,0938DAP^2++2,6804HtDc$	224,715041	5,6948E-18
108	$B = -28,0068+3,8411DAP+2,7004HtDc$	246,50916	1,676E-18
109	$B = -14,2586+4,6390DAP+0,2485Ht^2Dc$	241,024575	2,2576E-18
110	$B = 5,7957+1,7794DAP+0,8753DAPDc$	119,899445	1,8659E-14
111	$B = 1,6257+4,3263DAP+0,0167DAP^2Dc$	103,058036	1,2251E-13

Continuación

Modelos	PRUEBA F	
	F	p-valor
112 $B = -29,2392+12,3635Ht+0,8299DAPDc$	245,20486	1,798E-18
113 $B = 6,6369+1,0666Ht^2+0,8066DAPDc$	243,365035	1,9865E-18
114 $B = -9,8321+13,7242Ht++0,0230DAP^2Dc$	172,499146	1,8043E-16
115 $B = -11,5207+13,6121Ht+0,1084DAPDc^2$	163,243903	3,6795E-16
116 $B = 27,6084+1,1643Ht^2+0,1049DAPDc^2$	157,42748	5,8704E-16
117 $B = 12,0461-3,1443Ht+4,5814HtDc$	134,683942	4,3062E-15
118 $B = 20,6894+0,1111DAP^2 + 0,1146Ht^3+1,2451Dc^2$	145,120184	9,1923E-17
119 $B = 25,6263+0,1529DAP^2+0,1285Ht^3$	192,871289	4,2266E-17
120 $B = 34,5187+0,1000DAP^2+0,3309HtDc^2$	151,038692	9,9906E-16
121 $B = -14,2586+4,6390DAP+0,2485Ht^2Dc$	241,024575	2,2576E-18
122 $B = 64,8698+7,8430DAP+10,6978886Hf$	101,152978	1,5415E-13

El valor de F también es importante dado que dicho valor será mayor cuando mayor sea la variación explicada por el modelo y menor sea la variación por el error, por lo que el modelo indicaría un buen ajuste (Da Cunha, 2009).

Como se observa, las 112 ecuaciones fueron aceptadas al cumplir con la prueba de significancia Fisher. Por lo que todas las ecuaciones continuaron con el siguiente análisis.

c. Prueba de significancia t de Student:

En la Tabla 36, se presenta el resultado de la Prueba t de Student de las ecuaciones de biomasa cuya condición fue aceptada. El valor estadístico (p-valor) resultante de la prueba aplicada a todos los modelos que fueron aceptados y rechazados se presentan en el Anexo 9.

Tabla 36: Modelos de ecuaciones originales para la estimación de biomasa y los resultados de la Prueba t de Student.

Modelos	PRUEBA t		
	b ₁	b ₂	b ₃
1 $B = -50,3962+8,7664DAP$	1,23E-13		
2 $B = 3,6759+1,3152DAP^{1,5}$	5,24E-14		
3 $B = 31,1337+0,2156DAP^2$	6,80E-14		
4 $B = 47,7280+0,0367DAP^{2,5}$	2,19E-13		
5 $B = 58,7254+0,0063DAP^3$	1,18E-12		
6 $B = -342,7792+157,8745Ln(DAP)$	9,03E-12		

Continuación

Modelos	PRUEBA t		
	b ₁	b ₂	b ₃
18 B = 17,3110+4,8875Dc ²	1,54E-12		
19 B = 49,8147+0,6589Dc ³	4,77E-12		
21 B = -89,4513+14,1069Ht+6,4650DAP	1,42E-05	1,45E-10	
22 B = -48,2865+13,7579Ht+0,9790DAP ^{1.5}	1,42E-05	6,25E-11	
23 B = -28,2559+13,8421Ht+0,1603DAP ²	1,45E-05	7,98E-11	
24 B = -13,3504+14,9917Ht+0,0046DAP ³	1,42E-05	1,16E-09	
25 B = -47,5260+1,2580Ht ² +6,2169DAP	2,64E-06	1,56E-10	
26 B = -32,0926+0,1341Ht ³ +6,1458DAP	1,63E-06	1,61E-10	
27 B = 11,0802+1,2185Ht ² +0,1545DAP ²	5,82E-06	1,82E-10	
28 B = -8,6749+1,2197Ht ² +0,9429DAP ^{1.5}	3,89E-06	9,77E-11	
29 B = 44,4501+0,1367Ht ³ +0,0044DAP ³	1,70E-05	1,29E-08	
30 B = 28,8817+1,3056Ht ² +0,0044DAP ³	9,50E-06	4,37E-09	
31 B = 9,4437+0,9087DAPHt	9,86E-19		
36 B = 49,3328+0,0260DAP ² Ht	3,28E-16		
37 B = 41,2740+0,0964DAPHt ²	4,84E-16		
38 B = 62,0239+0,0030DAP ² Ht ²	5,41E-15		
39 B = -0,2647+4,8697DAP+0,0001DAP ² Ht	2,27E-06	1,32E-08	
41 B = 13,0121+8,0609Ht+0,0216DAP ² Ht	0,0205347	4,35E-10	
43 B = 41,7117+-0,1352DAP ² +0,000004DAP ² Ht	1,93E-05	5,73E-07	
46 B = -0,6280+4,9487DAP+0,0004DAP ³ Ht	0,002262	0,008025	
64 B = -9,7816+4,4074DAP-0,0069DAP ³ +0,0407DAP ² Ht	0,006649	0,001594	5,30E-06
65 B = -121,2004+31,3565DAP-5,4343DAP ^{1.5} +0,0417DAP ² Ht	0,000269	0,000524	1,44E-06
68 B = -65,3472+13,3506DAP-0,4536DAP ² +0,0417DAP ² Ht	0,000251	0,000688	2,02E-06
79 B = -367,0931+79,8532Ln(Ht)+118,3131Ln(DAP)	0,000159	7,89E-09	
80 B = -300,3968+76,9394Lg ₂ (DAP)+15,9989Ht	7,59E-09	1,16E-05	
81 B = -244,8307+73,7421Lg ₂ (DAP)+1,4297Ht ²	4,85E-09	1,28E-06	
82 B = -225,4250+72,9021Lg ₂ (DAP)+0,1532Ht ³	2,80E-09	4,40E-07	
83 B = -367,0931+82,0084Lg ₂ (DAP)+55,3500Lg ₂ (Ht)	7,89E-09	0,000159	
84 B = -14,2918+16,9756Dc+0,1456DAP ²	0,011304	4,00E-05	
85 B = -31,9216+16,5971Dc+0,8965DAP ^{1.5}	0,013645	3,79E-05	
86 B = -7,0623+20,5058Dc+0,0039DAP ³	0,002414	0,000147	
87 B = 4,2774+2,1217Dc ² +0,8177DAP ^{1.5}	0,007761	0,000255	
88 B = 1,1598+3,3717Dc ² +1,2857Ht ²	1,97E-08	3,22E-05	
89 B = 17,0891+3,3364Dc ² +0,1330Ht ³	9,25E-08	9,27E-05	
90 B = -17,0364+11,2978Dc+0,7217DAPHt	0,009899	6,16E-10	

Continuación

Modelos	PRUEBA t		
	b ₁	b ₂	b ₃
92 B = -299,0602+45,9836Lg ₂ (Dc)+76,3772Lg ₂ (DAP)	0,023722	8,86E-05	
93 B = -172,0646+55,3253Lg ₂ (DAP)+2,8534Dc ²	0,000495	7,93E-05	
94 B = -299,0602+66,3403Ln(Dc)+110,1890Ln(DAP)	0,023722	8,86E-05	
95 B = - 325,8704 +77,3561Ln(Ht)+61,1434Ln(Dc)+75,5352Ln(DAP)	5,89E-05	0,006814	0,000621
99 B = -101,8716+4,2469DAP+14,1115Dc+13,0482Ht	7,31E-05	0,003979	7,71E-06
100 B = -17,0413+0,7217DAPHt+11,2988Dc	6,17E-10	0,009898	
101 B = 9,2089+0,0196DAP ² Ht+13,1776Dc	3,08E-07	0,017855	
102 B = -0,0736+0,0005DAP ³ Ht+19,9532Dc	4,19E-05	0,001707	
103 B = -6,3500+0,0683DAPHt ² +16,2072Dc	2,18E-08	0,000712	
104 B = -7,2838+0,0068DAPHt ³ +20,1624Dc	8,28E-07	0,000142	
105 B = 7,9149+0,0021DAP ² Ht ² +16,4456Dc	1,01E-06	0,0033121	
106 B = 7,7811+0,7179DAPHt+1,2235Dc ²	1,66E-08	0,027467	
107 B = 8,3970+0,0938DAP ² +2,6804HtDc	0,0002438	9,26E-07	
108 B = -28,0068+3,8411DAP+2,7004HtDc	6,80E-05	1,42E-07	
109 B = -14,2586+4,6390DAP+0,2485Ht ² Dc	8,24E-07	1,92E-07	
111 B = 1,6257+4,3263DAP+0,0167DAP ² Dc	0,0280771	0,0173682	
112 B = -29,2392+12,3635Ht+0,8299DAPDc	1,42E-05	1,68E-12	
113 B = 6,6369+1,0666Ht ² +0,8066DAPDc	1,57E-05	1,03E-11	
114 B = -9,8321+13,7242Ht+++0,0230DAP ² Dc	2,66E-05	1,75E-10	
115 B = -11,5207+13,6121Ht+0,1084DAPDc ²	4,55E-05	3,59E-10	
116 B = 27,6084+1,1643Ht ² +0,1049DAPDc ²	7,40E-05	3,23E-09	
118 B = 20,6894+0,1111DAP ² + 0,1146Ht ³ +1,2451Dc ²	0,0001633	3,40E-05	0,04801332
119 B = 25,6263+0,1529DAP ² +0,1285Ht ³	3,74E-10	7,24E-06	
120 B = 34,5187+0,1000DAP ² +0,3309HtDc ²	0,002422	0,0001925	
121 B = -14,2586+4,6390DAP+0,2485Ht ² Dc	8,24E-07	1,92E-07	
122 B = 64,8698+7,8430DAP+10,6978886Hf	2,17E-11	0,0224934	

En este análisis fueron rechazadas 43 ecuaciones porque no se logró demostrar la significancia de cada una de sus variables independientes, mientras que 69 ecuaciones continuaron con el análisis.

d. Análisis de residuos

Del análisis de residuos de las 69 ecuaciones restantes, 7 ecuaciones mostraron homocedasticidad, mientras que las 62 ecuaciones restantes mostraron heterocedasticidad.

A continuación, en las Figuras desde la 38 – 44, se presenta el análisis de residuos de aquellas ecuaciones para biomasa que cumplieron el supuesto de homocedasticidad. Sus respectivos estadísticos se presentan en el Anexo 10.

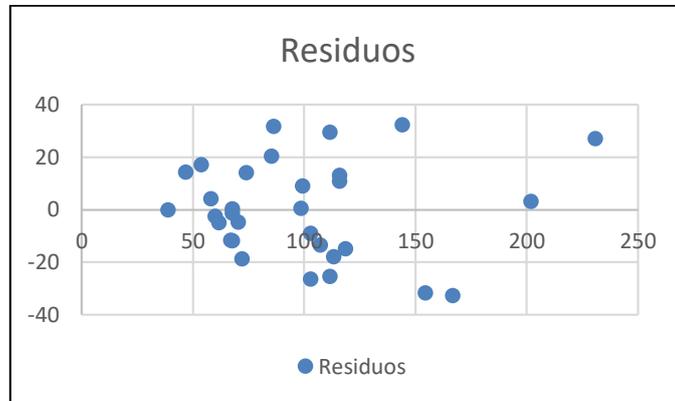


Figura 38. Análisis de residuos de la ecuación 1: $B = -50,3962+8,7664DAP$

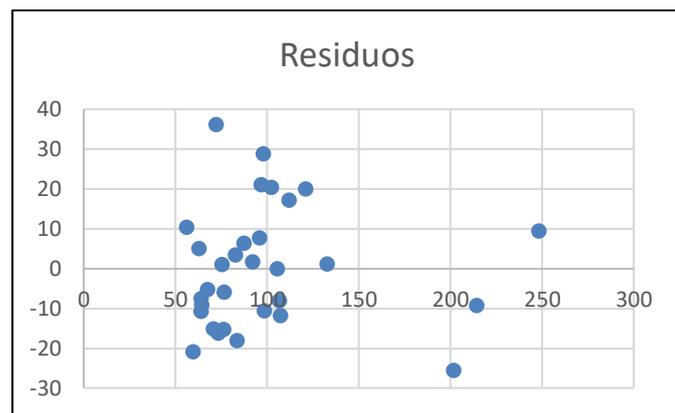


Figura 39. Análisis de residuos de la ecuación 37: $B = 41,2740+0,0964DAPHt^2$

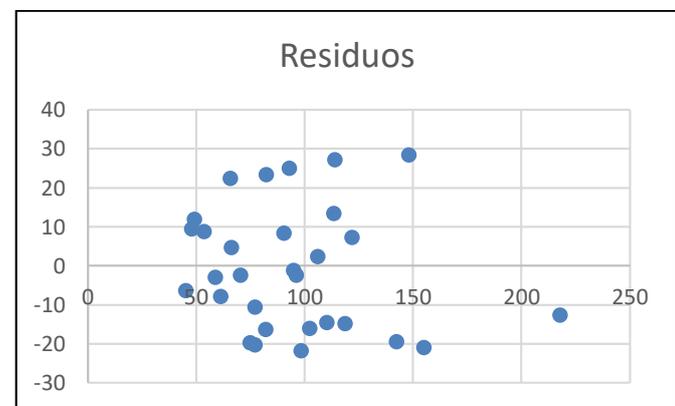


Figura 40. Análisis de residuos de la ecuación 85: $B = -31,9216+16,9756Dc + 0,8965DAP^{1,5}$

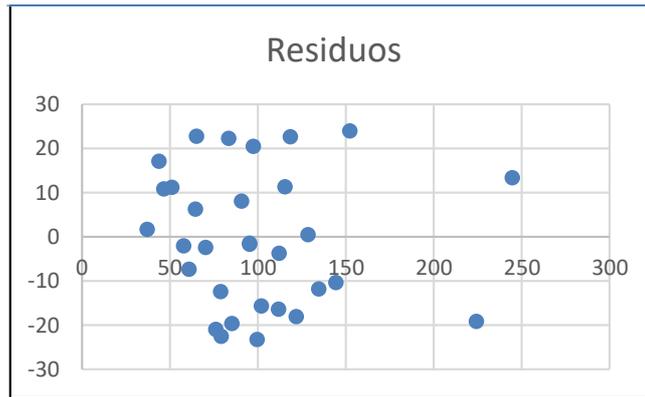


Figura 41. Análisis de residuos de la ecuación 93: $B = -172,0646 + 55,3253Lg_2(DAP) + 2,8534Dc^2$

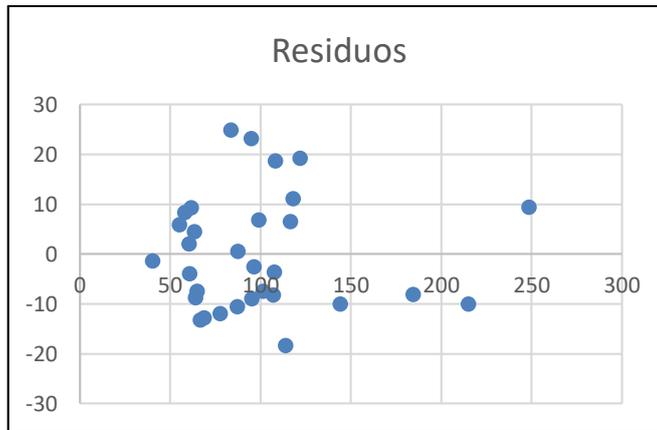


Figura 42. Análisis de residuos de la ecuación 65: $B = -121,2004 + 31,3565DAP - 5,4343DAP^{1.5} + 0,0417DAP.Ht^2$

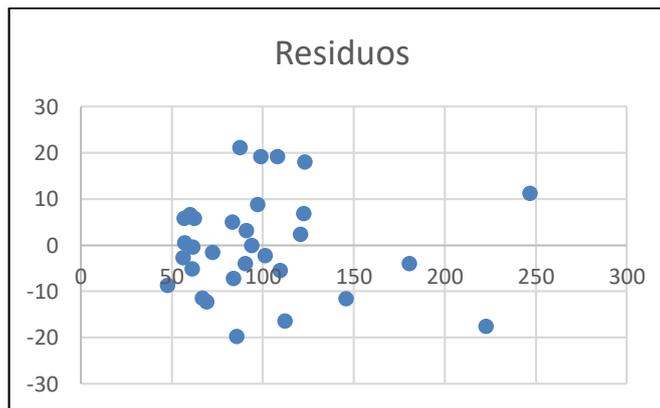


Figura 43. Análisis de residuos del modelo de ecuación 100: $B = -17,0413 + 0,7217DAPHt + 11,2988Dc$

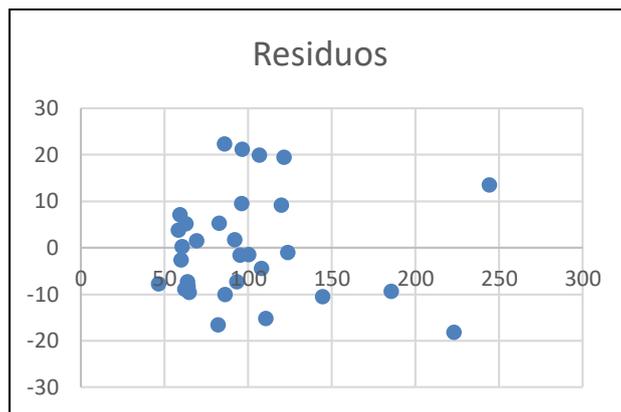


Figura 44. Análisis de residuos de la ecuación 112: $B = -29,2392 + 12,3635Ht + 0,8299DAPxDe$

Dado que 7 de los casos cumplieron el supuesto de homocedasticidad, se decidió realizar ponderaciones para cada uno de los 62 casos restantes con el fin de levantar la heterocedasticidad y poder tomar una mejor decisión.

4.8.2. ANÁLISIS DE REGRESIÓN DEL VOLUMEN

Se procedió a realizar el análisis de regresión para cada una de las ecuaciones propuestas para la estimación del volumen

e. Coeficiente de determinación (R^2):

En la Tabla 37 se muestra los 122 modelos de ecuaciones y la condición de aceptación o rechazo según el coeficiente de determinación (R^2).

De las 122 ecuaciones, 12 de ellas fueron rechazadas por presentar un coeficiente de determinación menor a 0,8. Mientras que 110 ecuaciones continuaron con el análisis.

Como se observa, las ecuaciones en las que la altura total y altura de fuste como la única variable independiente no presentaron una buena asociación lineal con el volumen.

Tabla 37: Modelos de ecuaciones originales para la estimación de volumen y su coeficiente de determinación R²

Modelos	Coeficientes				R ²	Condición
	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃		
1 V = b ₀ +b ₁ DAP	-0,1702	0,0194			0,8644	Aceptado
2 V = b ₀ +b ₁ DAP ^{1.5}	-0,0528	0,0029			0,8896	Aceptado
3 V = b ₀ +b ₁ DAP ²	0,0071	0,0005			0,9032	Aceptado
4 V = b ₀ +b ₁ DAP ^{2.5}	0,0435	0,0001			0,9059	Aceptado
5 V = b ₀ +b ₁ DAP ³	0,0677	0,0000			0,8997	Aceptado
6 V = b ₀ +b ₁ Ln(DAP)	-0,7968	0,3420			0,7823	Rechazado
7 V = b ₀ +b ₁ Lg(DAP)	-0,7968	0,7875			0,7823	Rechazado
8 V = b ₀ +b ₁ DAP+b ₂ DAP ²	0,0618	-0,0058	0,0006		0,9053	Aceptado
9 V = b ₀ +b ₁ Ht	-0,2200	0,0686			0,6483	Rechazado
10 V = b ₀ +b ₁ Ht ²	-0,0292	0,0059			0,6963	Rechazado
11 V = b ₀ +b ₁ Ht ³	0,0379	0,0006			0,7176	Rechazado
12 V = b ₀ +b ₁ Ln(Ht)	-0,4629	0,3686			0,5765	Rechazado
13 V = b ₀ +b ₁ Lg(Ht)	-0,4629	0,8488			0,5765	Rechazado
14 V = b ₀ +b ₁ Hf	-0,0726	0,0826			0,4288	Rechazado
15 V = b ₀ +b ₁ Hf ²	0,0542	0,0123			0,4363	Rechazado
16 V = b ₀ +b ₁ Ln(Hf)	-0,0697	0,2305			0,3790	Rechazado
17 V = b ₀ +b ₁ Dc	-0,2124	0,0938			0,7672	Rechazado
18 V = b ₀ +b ₁ Dc ²	-0,0188	0,0107			0,8237	Aceptado
19 V = b ₀ +b ₁ Dc ³	0,8313	0,8313			0,8313	Aceptado
20 V = b ₀ +b ₁ Ln(Dc)	-0,3307	0,3630			0,6647	Rechazado
21 V = b ₀ +b ₁ Ht+b ₂ DAP	-0,2477	0,0282	0,0148		0,9247	Aceptado
22 V = b ₀ +b ₁ Ht+b ₂ DAP ^{2.5}	-0,0760	0,0260	0,0001		0,9576	Aceptado
23 V = b ₀ +b ₁ Ht+b ₂ DAP ²	-0,1030	0,0257	0,0004		0,9531	Aceptado
24 V = b ₀ +b ₁ Ht+b ₂ DAP ³	-0,0620	0,0271	0,0000		0,9567	Aceptado

Continuación

		Coeficientes					
Modelos		b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	R ²	Condición
25	$V = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP$	-0,1638	0,0026	0,0141		0,9366	Aceptado
26	$V = b_0 + b_1 Ht^3 + b_2 DAP$	-0,1306	0,0003	0,0137		0,9436	Aceptado
27	$V = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP^2$	-0,0312	0,0023	0,0004		0,9602	Aceptado
28	$V = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP^{2,5}$	-0,0039	0,0023	0,0001		0,9633	Aceptado
29	$V = b_0 + b_1 Ht^3 + b_2 DAP^3$	0,0409	0,0003	0,000001		0,9621	Aceptado
30	$V = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP^3$	0,0128	0,0024	0,000001		0,9614	Aceptado
31	$V = b_0 + b_1 DAPHt$	-0,0384	0,0020			0,9543	Aceptado
32	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAPHt$	-0,0582	0,0025	0,0018		0,9561	Aceptado
33	$V = b_0 + b_1 DAP^{2,5} + b_2 DAPHt$	-0,0195	0,0000	0,0015		0,9235	Aceptado
34	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAPHt$	-0,0308	0,0001	0,0015		0,9423	Aceptado
35	$V = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAPHt$	0,0129	-0,0147	0,0023		0,9617	Aceptado
36	$V = b_0 + b_1 DAP^2 Ht$	0,0479	0,0001			0,9575	Aceptado
37	$V = b_0 + b_1 DAPHt^2$	0,0315	0,0002			0,9291	Aceptado
38	$V = b_0 + b_1 DAP^2 Ht^2$	0,0762	0,000001			0,9440	Aceptado
39	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 Ht$	0,0336	0,0012	0,0001		0,9578	Aceptado
40	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^{2,5} Ht$	0,0152	0,0043	0,0000		0,9632	Aceptado
41	$V = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP^2 Ht$	0,0028	0,0100	0,0001		0,9630	Aceptado
42	$V = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAPHt^2$	0,1435	-0,0271	0,0003		0,9485	Aceptado
43	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAP^2 Ht$	0,0529	-0,0001	0,0001		0,9579	Aceptado
44	$V = b_0 + b_1 DAPHt + b_2 DAP^2 Ht$	0,0069	0,0009	0,0000		0,9253	Aceptado
45	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAPHt$	-0,0308	0,0001	0,0015		0,9603	Aceptado
46	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 Ht$	-0,0079	0,0069	0,0000		0,9031	Aceptado
47	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2$	0,0618	-0,0058	0,0006		0,9053	Aceptado
48	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht + b_3 DAP^2 Ht$	-0,0187	0,0001	0,0130	0,000001	0,9638	Aceptado

Continuación

		Coeficientes						
	Modelos	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	R ²	Condición	
49	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 + b_3 DAP^2 Ht$	-0,0159	0,0035	0,0012	0,000001	0,9660	Aceptado	
50	$V = b_0 + b_1 DAP^3 + b_2 Ht + b_3 DAP^2 Ht$	0,0144	0,0000	0,0070	0,0001	0,9632	Aceptado	
51	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^2 + b_3 DAP^2 Ht$	0,0074	0,0001	0,0014	0,000001	0,9653	Aceptado	
52	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht + b_3 DAPHt^2$	0,0223	0,0002	-0,0020	0,0001	0,9657	Aceptado	
53	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 + b_3 DAPHt$	0,0347	-0,0070	-0,0027	0,0034	0,9623	Aceptado	
54	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht + b_3 DAPHt$	0,0277	-0,0001	-0,0199	0,0026	0,9619	Aceptado	
55	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^2 + b_3 DAPHt$	-0,0311	0,0002	0,0011	0,0008	0,9605	Aceptado	
56	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^3 + b_3 DAPHt$	-0,0242	-0,0028	-0,002	0,0027	0,9578	Aceptado	
57	$V = b_0 + b_1 Ht^3 + b_2 DAPHt$	-0,0429	-0,0001	0,0022		0,9574	Aceptado	
58	$V = b_0 + b_1 DAP^3 + b_2 DAPHt$	-0,0126	0,0000	0,0015		0,9640	Aceptado	
59	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht + b_3 DAPHt$	0,0969	-0,0052	-0,0270	0,0031	0,9642	Aceptado	
60	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht + b_3 DAPHt^2$	0,0069	0,0063	-0,0115	0,0002	0,9638	Aceptado	
61	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht + b_3 DAP^2 Ht$	-0,0386	0,0028	0,0118	0,0000	0,9648	Aceptado	
62	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^2 + b_3 DAP^2 Ht^2$	0,0172	0,0002	-0,0002	0,0001	0,9657	Aceptado	
63	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAPHt$	0,0345	-0,0070	0,0003	0,0016	0,9633	Aceptado	
64	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 + b_3 DAP^2 Ht$	-0,0012	0,0035	0,0000	0,0001	0,9651	Aceptado	
65	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^{2,5} + b_3 DAP^2 Ht$	-0,0263	0,0068	-0,0001	0,0001	0,9658	Aceptado	
66	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAPHt^2$	0,0162	-0,0003	0,0002	0,0001	0,9657	Aceptado	
67	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 + b_3 DAPHt^2$	-0,0067	0,0039	0,0000	0,0001	0,9666	Aceptado	
68	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAP^2 Ht$	-0,0654	0,0138	-0,0005	0,0001	0,9665	Aceptado	
69	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 + b_3 DAPHt$	0,0049	-0,0017	0,0000	0,0015	0,9645	Aceptado	
70	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAPHt + b_3 DAP^2 Ht$	0,0042	0,0003	0,0009	0,0000	0,9653	Aceptado	
71	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAPHt + b_3 DAP^2 Ht$	0,0075	0,0000	0,0009	0,0000	0,9653	Aceptado	
72	$V = b_0 + b_1 DAP^3 + b_2 DAPHt + b_3 DAP^2 Ht$	0,0080	0,0000	0,0009	0,0000	0,9653	Aceptado	

Continuación

		Coeficientes				R ²	Condición
Modelos		b ₀	b ₁	b ₂	b ₃		
73	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAPHt^2 + b_3 DAP^2 Ht$	-0,0068	0,0039	0,0001	0,000001	0,9662	Aceptado
74	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAPHt^2 + b_3 DAP^2 Ht$	0,0187	0,0002	0,0001	0,000001	0,9658	Aceptado
75	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 Ht$	-0,0365	-0,0072	0,0006	0,0261	0,9564	Aceptado
76	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 + b_3 Ht$	-0,0971	0,0032	0,0000	0,0261	0,9588	Aceptado
77	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 Ht^2$	0,0218	-0,0056	0,0005	0,0023	0,9622	Aceptado
78	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAP^3 + b_3 Ht$	-0,0753	0,0001	0,0000	0,0262	0,9582	Aceptado
79	$V = b_0 + b_1 Ln(Ht) + b_2 Ln(DAP)$	-0,8467	0,1652	0,2600		0,8531	Aceptado
80	$V = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Ht$	-0,7059	0,1676	0,0342		0,8760	Aceptado
81	$V = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Ht^2$	-0,5813	0,1586	0,0031		0,8954	Aceptado
82	$V = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Ht^3$	-0,5321	0,1547	0,0003		0,9076	Aceptado
83	$V = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Lg_2(Ht)$	-0,8467	0,1802	0,1145		0,8531	Aceptado
84	$V = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAP^2$	-0,0500	0,0214	0,0004		0,9128	Aceptado
85	$V = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAP^{2,5}$	-0,0245	0,0228	0,0001		0,9174	Aceptado
86	$V = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 DAP^{2,5}$	0,0207	0,0031	0,0001		0,9187	Aceptado
87	$V = b_0 + b_1 Dc^3 + b_2 DAP^2$	0,0145	0,0005	0,0004		0,9178	Aceptado
88	$V = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 Ht^2$	-0,0531	0,0075	0,0027		0,9234	Aceptado
89	$V = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 Ht^3$	-0,0193	0,0073	0,0003		0,9321	Aceptado
90	$V = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAPHt$	-0,0733	0,0149	0,0018		0,9255	Aceptado
91	$V = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 DAPHt$	-0,0412	0,0021	0,0017		0,9021	Aceptado
92	$V = b_0 + b_1 Lg_2(Dc) + b_2 Lg_2(DAP)$	-0,7195	0,0810	0,1787		0,8038	Aceptado
93	$V = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Dc^2$	-0,4024	0,1121	0,0066		0,8765	Aceptado
94	$V = b_0 + b_1 Ln(Dc) + b_2 Ln(DAP)$	-0,7195	0,1169	0,2579		0,8038	Aceptado
95	$V = b_0 + b_1 Ln(Ht) + b_2 Ln(Dc) + b_3 Ln(DAP)$	-0,7752	0,1609	0,1061	0,1858	0,8708	Aceptado
96	$V = b_1 DAP^2 + b_2 DAP^3 Ht + b_3 DAPHt^2 + b_4 Ht^2$	0,0132	0,0002	0,0000	0,0001	0,9661	Aceptado
97	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAPHt + b_4 DAP^2 Ht$	-0,0597	0,0126	-0,0005	0,0001	0,9665	Aceptado

Continuación

		Coeficientes				R ²	Condición
	Modelos	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃		
98	$V = b_0 + b_1 DAP^{2,5} + b_2 Dc^2 + b_3 DAPHt + b_4 Ht^3$	0,0055	0,0000	0,0013	0,0003	0,9674	Aceptado
99	$V = b_0 + b_1 Dc + b_2 Ht$	-0,2969	0,0654	0,0355		0,8711	Aceptado
100	$V = b_0 + b_1 DAPHt + b_2 Dc$	-0,0733	0,0018	0,0149		0,9594	Aceptado
101	$V = b_0 + b_1 DAP^2 Ht + b_2 Dc$	0,0130	0,0001	0,0115		0,9603	Aceptado
102	$V = b_0 + b_1 DAP^3 Ht + b_2 Dc$	0,0032	0,000001	0,0249		0,9338	Aceptado
103	$V = b_0 + b_1 DAPHt^2 + b_2 Dc$	-0,0444	0,0002	0,0258		0,9471	Aceptado
104	$V = b_0 + b_1 DAPHt^3 + b_2 Dc$	-0,0432	0,000001	0,0344		0,9290	Aceptado
105	$V = b_0 + b_1 DAP^2 Ht^2 + b_2 Dc$	0,0116	0,000001	0,0196		0,9533	Aceptado
106	$V = b_0 + b_1 DAPHt + b_2 Dc^2$	-0,0412	0,0017	0,0021		0,9607	Aceptado
107	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht Dc$	-0,0334	0,0003	0,0048		0,9580	Aceptado
108	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht Dc$	-0,1238	0,0092	0,0056		0,9462	Aceptado
109	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 Dc$	-0,0909	0,0103	0,0005		0,9556	Aceptado
110	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP Dc$	-0,0355	0,0027	0,0021		0,9146	Aceptado
111	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 Dc$	-0,0082	0,0056	0,0001		0,9190	Aceptado
112	$V = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP Dc$	-0,1088	0,0236	0,0019		0,9538	Aceptado
113	$V = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP Dc$	-0,0413	0,0021	0,0019		0,9565	Aceptado
114	$V = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP^2 Dc$	-0,0568	0,0248	0,0001		0,9570	Aceptado
115	$V = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP Dc^2$	-0,0642	0,0255	0,0003		0,9395	Aceptado
116	$V = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP Dc^2$	0,0079	0,0022	0,0002		0,9399	Aceptado
117	$V = b_0 + b_1 Ht + b_2 Ht Dc$	-0,0173	-0,0107	0,0104		0,8995	Aceptado
118	$V = b_0 + b_1 Dc + b_2 Ht^{1,5}$	-0,1863	0,0615	0,0032		0,8781	Aceptado
119	$V = b_0 + b_1 Dc + b_2 Ht^{2,5}$	-0,1608	0,0603	0,0010		0,8795	Aceptado
120	$V = b_0 + b_1 Dc + b_2 Ht^2$	-0,1863	0,0615	0,0032		0,8781	Aceptado
121	$V = b_0 + b_1 Dc^3 + b_2 Ht^2$	-0,0023	0,0010	0,0026		0,9007	Aceptado
122	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Hf$	-0,2098	0,0166	0,0293		0,9037	Aceptado

Prueba de significancia Fisher “F”:

En la Tabla 38, se presenta el resultado de la Prueba F de las 110 ecuaciones de volumen y su condición de aceptación o rechazo. El valor estadístico de F y el p-valor de todas las ecuaciones se presentan en el Anexo 11.

Tabla 38: Ecuaciones originales para la estimación de biomasa aceptadas según el estadístico F.

	Modelos	F	p-valor
1	$V = -0,1702+0,0194DAP$	184,872451	4,1114E-14
2	$V = -0,0528+0,0029DAP^{1.5}$	233,692919	2,058E-15
3	$V = 0,0071+0,0005DAP^2$	270,443628	3,0608E-16
4	$V = 0,0435+0,0001DAP^{2.5}$	279,206031	2,0118E-16
5	$V = 0,0677+0,00001DAP^3$	260,082942	5,1092E-16
6	$V = b_0+b_1Ln(DAP)$	104,18879	4,1351E-11
7	$V = b_0+b_1Lg(DAP)$	104,18879	4,1351E-11
8	$V = 0,0618-0,0058DAP+0,0006DAP^2$	133,7763974	4,69161E-15
18	$V = -0,0188+0,0107Dc^2$	135,435704	1,9011E-12
19	$V = 0,8313+0,8313Dc^3$	142,893772	9,9499E-13
21	$V = -0,2477+0,0282Ht+0,0148DAP$	171,852583	1,8942E-16
22	$V = -0,0760+0,0260Ht+0,0001DAP^{2.5}$	316,53359	5,981E-20
23	$V = -0,1030+0,0257Ht+0,0004DAP^2$	284,821548	2,4549E-19
24	$V = -0,0620+0,0271Ht+0,00001DAP^3$	309,275666	8,1615E-20
25	$V = -0,1638+0,0026Ht^2+0,0141DAP$	206,712755	1,7069E-17
26	$V = -0,1306+0,0003Ht^3+0,0137DAP$	234,285073	3,2846E-18
27	$V = -0,0312+0,0023Ht^2+0,0004DAP^2$	337,883087	2,4901E-20
28	$V = -0,0039+0,0023Ht^2+0,0001DAP^{2.5}$	367,198128	8,1224E-21
29	$V = 0,0409+0,0003Ht^3+0,0000DAP^3$	355,742667	1,2451E-20
30	$V = 0,0128+0,0024Ht^2+0,0000DAP^3$	348,421384	1,6474E-20
31	$V = -0,0384+0,0020DAPHt$	606,239492	5,4784E-21
32	$V = -0,0582+0,0025DAP+0,0018DAPHt$	305,045219	9,8143E-20
33	$V = -0,0195+0,0000DAP^{2.5}+0,0015DAPHt$	206,89197	1,6876E-17
34	$V = -0,0308+0,0001DAP^2+0,0015DAPHt$	338,527769	2,4271E-20
35	$V = 0,0129+-0,0147Ht+0,0023DAPHt$	351,876358	1,4425E-20
36	$V = 0,0479+0,0001DAP^2Ht$	652,689101	1,966E-21
37	$V = 0,0315+0,0002DAPHt^2$	380,082636	3,2765E-18
38	$V = 0,0762+0,00001DAP^2Ht^2$	488,398993	1,0789E-19
39	$V = 0,0336+0,0012DAP+0,0001DAP^2Ht$	317,964819	5,6299E-20
40	$V = 0,0152+0,0043DAP+0,00001DAP^{2.5}Ht$	246,784842	1,6514E-18
41	$V = 0,0028+0,0100Ht+0,0001DAP^2Ht$	364,289712	9,0417E-21
42	$V = 0,0152+0,0043Ht+0,00001DAPHt^2$	257,9888	9,16387E-19
43	$V = 0,0529-0,0001DAP^2+0,0001DAP^2Ht$	318,835131	5,4273E-20
44	$V = 0,0069+0,0009DAPHt+0,00001DAP^2Ht$	389,547278	3,6582E-21

Continuación

	Modelos	F	p-valor
45	$V = -0,0308+0,0001DAP^2+0,0015DAPHt$	338,527769	2,4271E-20
46	$V = -0,0079+0,0069DAP+0,00001DAP^3Ht$	208,13751	1,5599E-17
47	$V = 0,0618-0,0058DAP+0,0006DAP^2$	133,776397	4,6916E-15
48	$V = -0,0187+0,0001DAP^2+0,0130Ht+0,00001DAP^2Ht$	239,808882	1,4456E-19
49	$V = -0,0386+0,0028DAP+0,0118Ht^2+0,0000DAP^2Ht$	256,062201	6,1588E-20
50	$V = b_0+b_1DAP^3+b_2Ht+b_3DAP^2Ht$	235,257016	1,8542E-19
51	$V = 0,0074+0,0001DAP^2+0,0014Ht^2+0,0000DAP^2Ht$	250,050644	8,3914E-20
52	$V = 0,0223+0,0002DAP^2-0,0020Ht+0,0001DAPHt$	253,542851	7,0052E-20
53	$V = 0,0347-0,0070DAP-0,0027Ht^2+0,0034DAPHt$	229,745018	2,5223E-19
54	$V = 0,0277-0,0001DAP^2-0,0199Ht+0,0026DAPHt$	226,947349	2,9567E-19
55	$V = -0,0311+0,0002DAP^2+0,0011Ht^2+0,0008DAPHt$	218,806465	4,7467E-19
56	$V = -0,0096+0,0041DAP+0,0001Ht^3+0,0000DAPHt$	204,3796291	1,14658E-18
57	$V = -0,0429-0,0001Ht^3+0,0022DAPHt$	314,866588	6,4197E-20
58	$V = -0,0126+0,0000DAP^3+0,0015DAPHt$	374,827095	6,1546E-21
59	$V = 0,0969-0,0052DAP-0,0270Ht+0,0031DAPHt$	242,586005	1,2446E-19
60	$V = 0,0069+0,0063DAP-0,0115Ht+0,0002DAPHt^2$	239,6266	1,4599E-19
61	$V = -0,0386+0,0028DAP+0,0118Ht+0,0000DAP^2Ht$	246,85603	9,9197E-20
62	$V = 0,0172+0,0002DAP^2-0,0002Ht^2+0,0001DAP^2Ht^2$	253,375593	7,0657E-20
63	$V = 0,0345-0,0070DAP+0,0003DAP^2+0,0016DAPHt$	236,338064	1,747E-19
64	$V = -0,0012+0,0035DAP+0,0000DAP^3+0,0001DAP^2Ht$	248,993841	8,8669E-20
65	$V = -0,0263+0,0068DAP-0,0001DAP^{2,5}+0,0001DAP^2Ht$	254,291353	6,7414E-20
66	$V = 0,0162-0,0003DAP+0,0002DAP^2+0,0001DAPHt^2$	253,186586	7,1347E-20
67	$V = -0,0067+0,0039DAP+0,0000DAP^3+0,0001DAPHt^2$	260,146016	5,0115E-20
68	$V = -0,0654+0,0138DAP-0,0005DAP^2+0,0001DAP^2Ht$	259,245317	5,2432E-20
69	$V = 0,0049-0,0017DAP+0,0000DAP^3+0,0015DAPHt$	244,404034	1,1295E-19
70	$V = 0,0042+0,0003DAP+0,0009DAPHt+0,0000DAP^2Ht$	250,538449	8,1813E-20
71	$V = 0,0075+0,0000DAP^2+0,0009DAPHt+ 0,0000DAP^2Ht$	250,452196	8,218E-20
72	$V = 0,0080+0,0000DAP^3+0,0009DAPHt+0,0000DAP^2Ht$	250,470986	8,21E-20
73	$V = -0,0068+0,0039DAP+0,0001DAPHt^2+0,0000DAP^2Ht$	257,606099	5,6949E-20
74	$V = 0,0187+0,0002DAP^2+0,0001DAPHt^2+0,0000DAP^2Ht$	254,236659	6,7603E-20
75	$V = -0,0365-0,0072DAP+0,0006DAP^2+0,0261Ht$	197,364435	1,7993E-18
76	$V = -0,0971+0,0032DAP+0,0000DAP^3+0,0261Ht$	209,422623	8,3687E-19
77	$V = 0,0218-0,0056DAP+0,0005DAP^2+0,0023Ht^2$	229,024387	2,6272E-19
78	$V = -0,0753+0,0001DAP^2+0,0000DAP^3+0,0262Ht$	206,348776	1,013E-18
79	$V = -0,8467+0,1652Ln(Ht)+0,2600Ln(DAP)$	81,2914585	2,1829E-12
80	$V = -0,7059+0,1676Lg_2(DAP)+0,0342Ht$	98,9114218	2,0298E-13
81	$V = -0,5813+0,1586Lg_2(DAP)+0,0031Ht^2$	119,88128	1,8695E-14
82	$V = -0,5321+0,1547Lg_2(DAP)+0,0003Ht^3$	137,501988	3,3108E-15
83	$V = -0,8467+0,1802Lg_2(DAP)+0,1145Lg_2(Ht)$	81,2914585	2,1829E-12
84	$V = -0,0500+0,0214Dc+0,0004DAP^2$	146,589846	1,4647E-15
85	$V = -0,0245+0,0228Dc+0,0001DAP^{2,5}$	155,546687	6,8508E-16

Continuación

	Modelos	F	p-valor
86	$V = 0,0207+0,0031Dc^2+0,0001DAP^{2,5}$	158,270819	5,4806E-16
87	$V = 0,0145+0,0005Dc^3+0,0004DAP^2$	156,39721	6,3873E-16
88	$V = -0,0531+0,0075Dc^2+0,0027Ht^2$	155,223618	7,0362E-16
89	$V = -0,0193+0,0073Dc^2+0,0003Ht^3$	123,105191	1,33979E-14
90	$V = -0,0733+0,0149Dc+0,0018DAPHt$	331,024529	3,2801E-20
91	$V = -0,0412+0,0021Dc^2+0,0017DAPHt$	342,402401	2,0827E-20
92	$V = -0,7195+0,0810Lg_2(Dc)+0,1787Lg_2(DAP)$	57,3621296	1,251E-10
93	$V = -0,4024+0,1121Lg_2(DAP)+0,0066Dc^2$	99,3315506	1,927E-13
94	$V = -0,7195+0,1169Ln(Dc)+0,2579Ln(DAP)$	57,3621296	1,251E-10
95	$V = -0,7752+0,1609Ln(Ht)+0,1061Ln(Dc)+0,1858Ln(DAP)$	60,651799	4,0202E-12
96	$V = 0,0132DAP^2+0,0002DAP^3Ht+0,0000DAPHt^2+0,0001Ht^2$	185,179718	1,0632E-18
97	$V = -0,0597+0,0126DAP-0,0005DAP^2+0,0001DAPHt+b_4DAP^2Ht$	187,305242	9,2153E-19
98	$V = 0,0055+0,0000DAP^{2,5}+0,0013Dc^2+0,0003DAPHt+b_4Ht^3$	193,046856	6,3107E-19
99	$V = -0,2969+0,0654Dc+0,0355Ht$	94,6049983	3,4986E-13
100	$V = -0,0733+0,0018DAPHt+0,0149Dc$	331,024529	3,28014E-20
101	$V = 0,0130+0,0001DAP^2Ht+0,0115Dc$	338,503864	2,4294E-20
102	$V = 0,0032+0,0000DAP^3Ht+0,0249Dc$	197,395239	3,1222E-17
103	$V = -0,0444+0,0002DAPHt^2+0,0258Dc$	250,406315	1,3614E-18
104	$V = -0,0432+0,0000DAPHt^3+0,0344Dc$	183,137679	8,2988E-17
105	$V = 0,0116+0,0000DAP^2Ht^2+0,0196Dc$	286,101445	2,3123E-19
106	$V = -0,0412+0,0017DAPHt+0,0021Dc^2$	342,402401	2,0827E-20
107	$V = -0,0334+0,0003DAP^2+0,0048HtDc$	319,333564	5,3148E-20
108	$V = -0,1238+0,0092DAP+0,0056HtDc$	246,399711	1,6859E-18
109	$V = -0,0909+0,0103DAP+0,0005Ht^2Dc$	300,87604	1,1799E-19
110	$V = -0,0355+0,0027DAP+0,0021DAPDc$	149,9907	1,0923E-15
111	$V = -0,0082+0,0056DAP+0,0001DAP^2Dc$	158,853828	5,2274E-16
112	$V = -0,1088+0,0236Ht+0,0019DAPDc$	288,684191	2,0509E-19
113	$V = -0,0413+0,0021Ht^2+0,0019DAPDc$	308,061593	8,6029E-20
114	$V = -0,0568+0,0248Ht+0,0001DAP^2Dc$	311,820307	7,313E-20
115	$V = -0,0642+0,0255Ht+0,0003DAPDc^2$	217,336422	8,8385E-18
116	$V = 0,0079+0,0022Ht^2+0,0002 DAPDc^2$	219,184001	7,907E-18
117	$V = -0,0173+-0,0107Ht+0,0104HtDc$	125,247967	1,0783E-14
118	$V = -0,1863+0,0615Dc+0,0032Ht^{1,5}$	100,855122	1,5984E-13
119	$V = -0,1608+0,0603Dc+0,0010Ht^{2,5}$	102,179705	1,3613E-13
120	$V = -0,1863+0,0615Dc+0,0032Ht^2$	100,855122	1,5984E-13
121	$V = -0,0023+0,0010Dc^3+0,0026Ht^2$	126,948635	9,0979E-15
122	$V = -0,2098+0,0166DAP+0,0293Hf$	131,327105	5,9284E-15

Como se observa, las 110 ecuaciones fueron aceptadas al cumplir con la prueba de significancia Fisher, por lo que todas las ecuaciones continuaron con el siguiente análisis.

f. Prueba de significancia t de Student:

En la Tabla 39, se presenta el resultado de la Prueba t de Student de las ecuaciones de volumen cuya condición fue aceptada. El valor estadístico (p-valor) resultante de la prueba aplicada a todas las ecuaciones aceptadas y rechazadas se presentan en el Anexo 12.

Tabla 39: Modelos de ecuaciones originales para la estimación de biomasa y los resultados de la Prueba t de Student

	Modelos	PRUEBA t		
		b ₁	b ₂	b ₃
1	$V = -0,1702+0,0194DAP$	4,11E-14		
2	$V = -0,0528+0,0029DAP^{1,5}$	2,06E-15		
3	$V = 0,0071+0,0005DAP^2$	3,06E-16		
4	$V = 0,0435+0,0001DAP^{2,5}$	2,01E-16		
5	$V = 0,0677+0,00001DAP^3$	5,11E-16		
18	$V = -0,0188+0,0107Dc^2$	1,90E-12		
19	$V = 0,8313+0,8313Dc^3$	9,95E-13		
21	$V = -0,2477+0,0282Ht+0,0148DAP$	5,75E-05	7,14E-11	
22	$V = -0,0760+0,0260Ht+0,0001DAP^{2,5}$	2,76E-06	2,14E-14	
23	$V = -0,1030+0,0257Ht+0,0004DAP^2$	7,77E-06	8,84E-14	
24	$V = -0,0620+0,0271Ht+0,00001DAP^3$	1,51E-06	2,92E-14	
25	$V = -0,1638+0,0026Ht^2+0,0141DAP$	4,79E-06	5,01E-11	
26	$V = -0,1306+0,0003Ht^3+0,0137DAP$	8,84E-07	2,66E-11	
27	$V = -0,0312+0,0023Ht^2+0,0004DAP^2$	7,43E-07	7,01E-14	
28	$V = -0,0039+0,0023Ht^2+0,0001DAP^{2,5}$	3,57E-07	2,27E-14	
29	$V = 0,0409+0,0003Ht^3+0,0000DAP^3$	2,21E-07	9,72E-14	
30	$V = 0,0128+0,0024Ht^2+0,0000DAP^3$	2,94E-07	4,63E-14	
31	$V = -0,0384+0,0020DAPHt$	5,48E-21		
32	$V = -0,0582+0,0025DAP+0,0018DAPHt$	0,296826	2,47E-08	
35	$V = 0,0129+-0,0147Ht+0,0023DAPHt$	0,027539	5,13E-15	
36	$V = 0,0479+0,0001DAP^2Ht$	1,97E-21		
37	$V = 0,0315+0,0002DAPHt^2$	3,28E-18		
38	$V = 0,0762+0,00001DAP^2Ht^2$	1,08E-19		
44	$V = 0,0069+0,0009DAPHt+0,00001DAP^2Ht$	0,017843	0,005988	
46	$V = -0,0079+0,0069DAP+0,00001DAP^3Ht$	0,007377	4,37E-06	
58	$V = -0,0126+0,0000DAP^3+0,0015DAPH$	0,010600	1,08E-07	
65	$V = -0,0263+0,0068DAP-0,0001DAP^{2,5}+0,0001DAP^2Ht$	0,040131	0,018276	2,36E-07
68	$V = -0,0654+0,0138DAP-0,0005DAP^2+0,0001DAP^2Ht$	0,014351	0,013797	1,53E-07
79	$V = -0,8467+0,1652Ln(Ht)+0,2600Ln(DAP)$	0,001000	6,65E-08	

Continuación

	Modelos	PRUEBA t		
		b ₁	b ₂	b ₃
80	$V = -0,7059+0,1676Lg_2(DAP)+0,0342Ht$	8,35E-08	8,25E-05	
81	$V = -0,5813+0,1586Lg_2(DAP)+0,0031Ht^2$	5,98E-08	6,99E-06	
82	$V = -0,5321+0,1547Lg_2(DAP)+0,0003Ht^3$	2,90E-08	1,18E-06	
83	$V = -0,8467+0,1802Lg_2(DAP)+0,1145Lg_2(Ht)$	6,65E-08	0,001000	
86	$V = 0,0207+0,0031Dc^2+0,0001DAP^{2,5}$	0,044663	3,86E-06	
87	$V = 0,0145+0,0005Dc^3+0,0004DAP^2$	0,0334207	8,55E-06	
88	$V = -0,0531+0,0075Dc^2+0,0027Ht^2$	0,0373602	4,99E-06	
89	$V = -0,0193+0,0073Dc^2+0,0003Ht^3$	1,2018E-07	0,000105	
91	$V = -0,0412+0,0021Dc^2+0,0017DAPH$	0,0420104	1,24E-10	
93	$V = -0,4024+0,1121Lg_2(DAP)+0,0066Dc^2$	0,0017471	7,81E-05	
99	$V = -0,2969+0,0654Dc+0,0355Ht$	1,45E-07	5,50E-05	
102	$V = 0,0032+0,0000DAP^3Ht+0,0249Dc$	3,97E-09	0,015895	
103	$V = -0,0444+0,0002DAPHt^2+0,0258Dc$	1,67E-10	0,004602	
104	$V = -0,0432+0,0000DAPHt^3+0,0344Dc$	1,07E-08	0,000814	
105	$V = 0,0116+0,0000DAP^2Ht^2+0,0196Dc$	2,80E-11	0,02463	
106	$V = -0,0412+0,0017DAPHt+0,0021Dc^2$	1,24E-10	0,042010	
107	$V = -0,0334+0,0003DAP^2+0,0048HtDc$	5,73E-07	1,61E-06	
108	$V = -0,1238+0,0092DAP+0,0056HtDc$	2,00E-05	4,47E-07	
109	$V = -0,0909+0,0103DAP+0,0005Ht^2Dc$	9,60E-08	2,98E-08	
112	$V = -0,1088+0,0236Ht+0,0019DAPDc$	3,27E-05	7,38E-14	
113	$V = -0,0413+0,0021Ht^2+0,0019DAPDc$	1,33E-05	2,44E-13	
114	$V = -0,0568+0,0248Ht+0,0001DAP^2Dc$	7,67E-06	2,62E-14	
115	$V = -0,0642+0,0255Ht+0,0003DAPDc^2$	6,26E-05	3,26E-12	
116	$V = 0,0079+0,0022Ht^2+0,0002 DAPDc^2$	5,57E-05	2,31E-11	
118	$V = -0,1863+0,0615Dc+0,0032Ht^{1,5}$	5,33E-07	2,44E-05	
119	$V = -0,1608+0,0603Dc+0,0010Ht^{2,5}$	8,85E-07	2,07E-05	
120	$V = -0,1863+0,0615Dc+0,0032Ht^2$	5,33E-07	2,44E-05	
121	$V = -0,0023+0,0010Dc^3+0,0026Ht^2$	2,88E-08	0,000134	
122	$V = -0,2098+0,0166DAP+0,0293Hf$	2,45E-12	0,002161	

En este análisis fueron rechazadas 52 ecuaciones porque no se logró demostrar que alguno de sus coeficientes era diferente a cero, con lo que no influenciaban significativamente en el resultado del volumen. Un total de 58 ecuaciones continuaron con el análisis.

Como se observa en los resultados de biomasa y volumen, existen modelos de ecuaciones que no funcionan para esta especie, entre ellas aquellas ecuaciones que tienen como única

variable a la altura del fuste (ecuaciones 8 a la 17) y aquellas que tienen como variables DAP + Ht + DAP*Ht (modelos 69 al 78).

g. Análisis de residuos

Se realizó el análisis de residuos para las 58 ecuaciones de volumen, donde se observó que cuatro de ellas cumplen el supuesto de homocedasticidad. En las Figuras 45, 46, 47 y 48 se presentan el análisis de residuos y sus respectivos estadísticos se presentan en el Anexo 13.

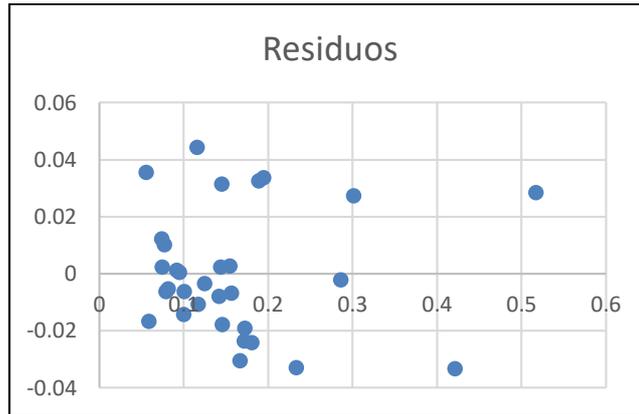


Figura 45. Análisis de residuos del modelo de ecuación 22: $V = -0,0760 + 0,0260Ht + 0,00006DAP^{2,5}$

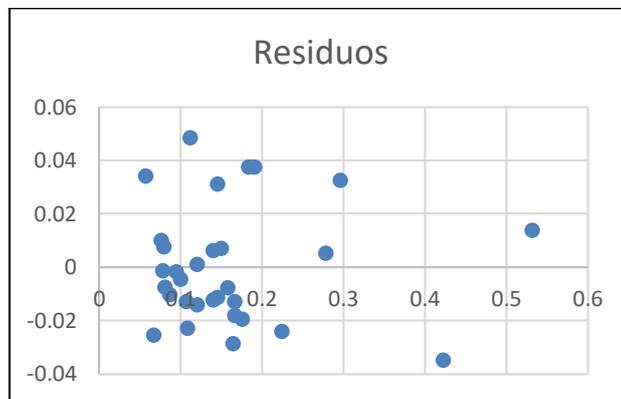


Figura 46. Análisis de residuos de la ecuación 24: $V = -0,0620 + 0,0271Ht + 0,00001DAP^3$

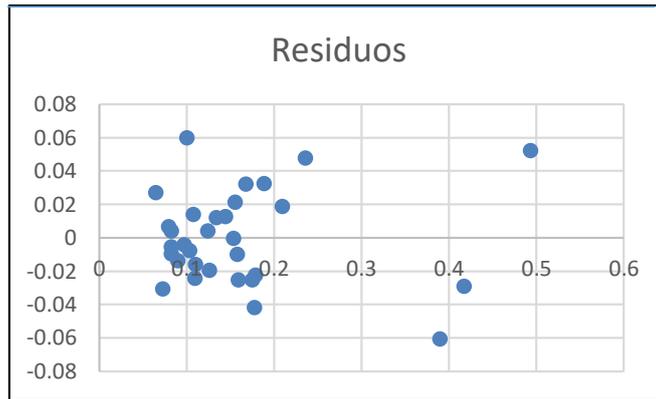


Figura 47. Análisis de residuos del modelo de ecuación 31: $V = -0,0384 + 0,0020DAPHt$

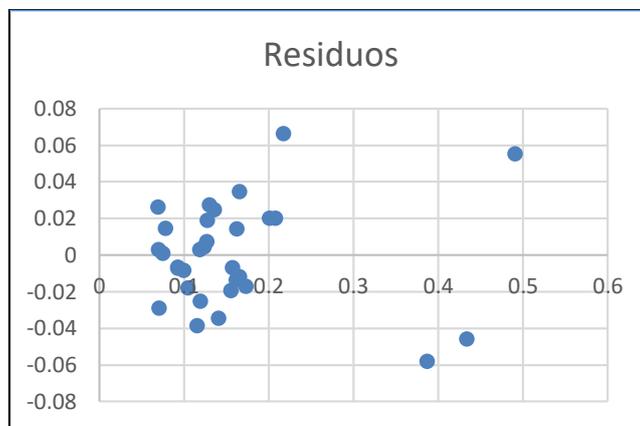


Figura 48. Análisis de residuos de la ecuación 104: $V = -0,0432 + 0,0001DAPHt^3 + 0,0344Dc$

Las 54 ecuaciones restantes que no cumplieron con el supuesto de homocedasticidad, pasaron a ser ponderadas.

4.9. ANÁLISIS DE REGRESIÓN PONDERADA

4.9.1. ANÁLISIS DE REGRESIÓN PONDERADA DE LA BIOMASA

- Ponderación:

Aplicando los factores de ponderación respectivos, se generaron un total de 2319 ecuaciones de biomasa ponderadas que fueron sometidas al procedimiento de regresión, seguido del análisis de los residuos.

- Coeficiente de determinación para modelos ponderados

Los resultados obtenidos del coeficiente de determinación indican un buen ajuste, lo que coincide con lo mencionado por Rodríguez (2005), dado que el coeficiente de determinación

mide la capacidad explicativa de la variable x sobre la variable independiente y como consecuencia de introducir otra variable x_i el nivel explicativo aumenta, es decir el R^2 es mayor.

Significancia de Fisher para los modelos ponderados.

Las ecuaciones ponderadas presentaron mejoras en el F-calculado, siendo ampliamente superior al F-tabular, por lo que existe una dependencia de la variable dependiente sobre las variables independientes (DAP, altura y diámetro de copa).

Significancia t de Student para los modelos ponderados

Como resultado se observó que, en todos los casos, los “t” calculados son superiores al t- tabular y los p-valor menores a 0,05; es decir que cada una de las variables independientes tiene una influencia significativa sobre el modelo.

Análisis de residuos para los modelos ponderados

Se confirmó la mejora de tres modelos de ecuaciones ponderadas que cumplieron los criterios y supuestos establecidos. Las ecuaciones de biomasa que lograron homocedasticidad fueron las de número 65, 92 y 101; un total de 2316 ecuaciones no cumplieron el criterio de homocedasticidad, por lo que fueron rechazadas

En el Anexo 14 se presentan los estadísticos de las ecuaciones ponderadas seleccionadas para biomasa.

Los factores de ponderación con los que se logró la homocedasticidad en el análisis de residuos fueron aquellos que incluían al diámetro a la altura del pecho y la copa, lo que coincide con lo mencionado por Flores (1995) que indica que el factor de ponderación más adecuado suele ser el DAP al cuadrado por la altura, todo elevado al cuadrado.

Tabla 40: Modelos de ecuaciones ponderadas aceptadas para estimación de biomasa

N°	Ecuación ponderada	Factor de pond. (K)	Estadístico F		p-valor (t-Student)
			F	p-valor	
65	$B/DAP^3 = -121,2003 + 31,3565 * DAP - 5,4343 * DAP^{1.5} + 0,0417 * DAP^2 * xHt / DAP^3$	DAP^3	147,231993	7,6525E-17	Si
92	$B/Dc^2 = -299,0602 + 45,9836 * \log_2(Dc) + 76,3772 * \log_2(DAP) / Dc^2$	Dc^2	71,597054	9,8032E-12	Si
101	$B/Dc^{1.5} = 9,2089 + 13,1776 * Dc + 0,0196 * DAP^2 * xHt / Dc^{1.5}$	$Dc^{1.5}$	162,388701	3,9373E-16	Si

En las Figuras 49, 50 y 51 se presentan sus respectivos gráficos para el análisis de residuos.

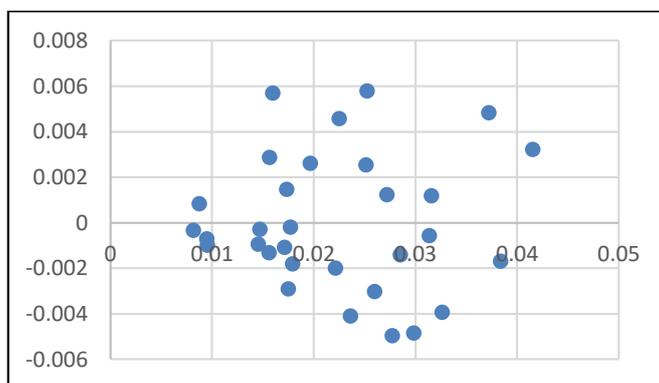


Figura 49. Análisis de residuos del modelo de ecuación 65: $B/DAP^3 = -121,2003 + 31,3565 * DAP + - 5,4343 * DAP^{1.5} + 0,0417 * DAP^2 * xHt / DAP^3$

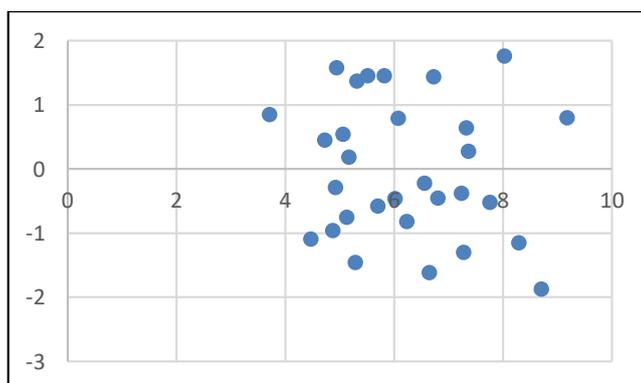


Figura 50. Análisis de residuos del modelo de ecuación 92: $B/Dc^2 = -299,0602 + 45,9836 * \log_2(Dc) + 76,3772 * \log_2(DAP) / Dc^2$

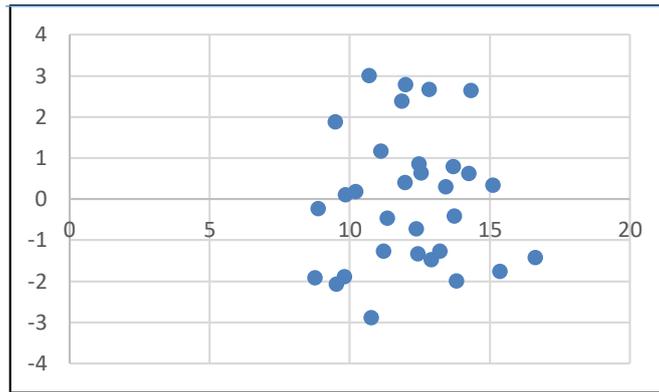


Figura 51. Análisis de residuos del modelo de ecuación 101: $B/ Dc^{1.5} = 9,2089 + 13,1776 * Dc + 0,0196 * DAP^2 * xHt / Dc^{1.5}$

4.9.2. ANÁLISIS DE REGRESIÓN PONDERADA DEL VOLUMEN

- Ponderación:

Utilizando los factores de ponderación descritos en la metodología, se generaron un total de 1886 modelos de ecuaciones de volumen ponderadas que fueron sometidas al procedimiento de regresión.

-Coeficiente de determinación para modelos ponderados

En el caso del volumen, el R^2 mostró una mejora significativa, presentando un buen ajuste.

Significancia de Fisher para los modelos ponderados.

Las ecuaciones ponderadas presentaron mejoras en el F-calculado, siendo ampliamente superior al F-tabular, por lo que también en caso de volumen existe una dependencia de la variable dependiente sobre las variables independientes (DAP, altura y diámetro de copa).

Significancia t de Student para los modelos ponderados

Como resultado se obtuvieron valores aceptables en todos los casos.

Análisis de residuos para los modelos ponderados

En el caso de las ecuaciones para la estimación de volumen 1884 ecuaciones ponderadas fueron rechazadas, ya que no lograron homogenizar la varianza de sus residuos con ningún factor de ponderación y solo dos de ellas cumplieron con los criterios y supuestos establecidos de homocedasticidad; lo que coincide con lo mencionado por Orellana (2008), que indica que no siempre es simple encontrar la transformación que solucione los problemas diagnosticados (heterocedasticidad). Las ecuaciones de volumen que lograron homocedasticidad fueron los

números 103 y 113. En el Anexo 15 se presentan los estadísticos de las ecuaciones ponderadas seleccionadas para volumen.

Tabla 41: Modelos de ecuaciones ponderadas para estimación de volumen

N°	Ecuación ponderada	Factor de pond. (K)	Estadístico F		p-valor (t-Student)
			F	p-valor	
103	$V / DAP^{0,2} \times Dc = -0,0444 + 0,0258 \times Dc + 0,0002 \times DAP \times Ht^2 / DAP^{0,2} \times Dc$	$DAP^{0,2} \times Dc$	250,41 1919	1,361E-18	Si
113	$V / DAP^{0,5} \times Dc = -0,0413 + 0,0021 \times Ht^2 + 0,0019 \times DAP \times Dc / DAP^{0,5} \times Dc$	$DAP^{0,5} \times Dc$	308,06 1593	8,6029E-20	Si

En las Figuras 52 y 53 se presentan sus respectivos análisis de residuos.

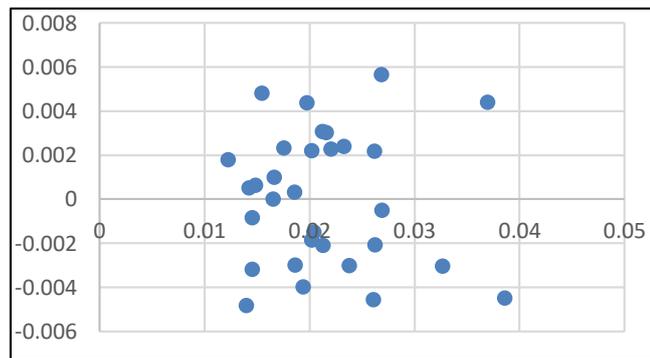


Figura 52. Análisis de residuos del modelo de ecuación 103: $V / DAP^{0,2} \times Dc = -0,0444 + 0,0258 \times Dc + 0,0002 \times DAP \times Ht^2 / DAP^{0,2} \times Dc$

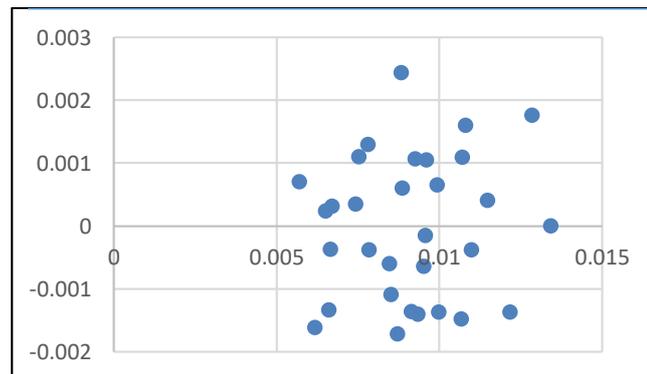


Figura 53. Análisis de residuos del modelo de ecuación 113: $V / DAP^{0,5} \times Dc = -0,0413 + 0,0021 \times Ht^2 + 0,0019 \times DAP \times Dc / DAP^{0,5} \times Dc$

4.10. SELECCIÓN DE LA MEJOR ECUACIÓN

4.10.1. ECUACIONES DE BIOMASA

En la Tabla 42 se presentan las 7 ecuaciones sin ponderar y las tres ecuaciones ponderadas seleccionadas, junto a su IF.

-Cuadrado medio del error:

Para el caso de las 7 ecuaciones no ponderadas se tomó en cuenta lo indicado por Barrena (1988) de que cuando no se han transformado las variables ni se ha ponderado, se seleccionará en función a la raíz del CME.

-Índice de Furnival (IF):

Como se observa en la Tabla 42, las ecuaciones que presentan menor IF son las N° 90, 112 y 121; que incluyen las tres variables (altura total, DAP y diámetro de copa).

Tabla 42: Ecuaciones seleccionadas para la estimación de biomasa.

N°	Ecuación de biomasa	IF= s*antilog(1/n*∑logp)
1	$B = -50,3962 + 8,7664 * DAP$	18,62
37	$B = 41,2740 + 0,0964 * DAP * Ht^2$	15,40
65	$B / DAP^3 = -121,2003 + 31,3565 * DAP + 5,4343 * DAP^{1,5} + 0,0417 * DAP^2 * Ht / DAP^3$	13,91
85	$B = -31,9216 + 16,5971 * Dc + 0,0964 * DAP^{1,5}$	16,51
90	$B = -17,0413 + 11,2988 * Dc + 0,7217 * DAP * Ht$	11,22
92	$B / Dc^2 = -299,0602 + 45,9836 * \log_2(Dc) + 76,3772 * \log_2(DAP) / Dc^2$	17,07
93	$B = -172,0646 + 55,3253 * \log_2(DAP) + 0,0964 * Dc^2$	16,58
101	$B / Dc^{1,5} = 9,2089 + 13,1776 * Dc + 0,0196 * DAP^2 * Ht / Dc^{1,5}$	12,97
112	$B = -29,2392 + 12,3635 * Ht + 0,8299 * Dc * DAP$	11,52
121	$B = -14,2586 + 4,6390 * DAP + 0,2485 * Ht^2 * Dc$	11,61

La ecuación seleccionada para la estimación de biomasa de la especie *Myrcianthes oreophila* que presenta un menor valor de Índice de Furnival y una mejor distribución a nivel de análisis de residuos es la ecuación 90, que se trata de una de las ecuaciones no ponderadas:

$$B = -17,04134921 + 11,29882432 * Dc + 0,72171752 * DAP * Ht$$

Cabe destacar, que los modelos alométricos existentes en la literatura están generalmente en función al DAP, para brindar una mayor facilidad de obtención de variables en campo durante los inventarios, que tal como recomienda Gorbitz (2011) permite analizar un mayor número de árboles y/o parcelas, con lo cual se consigue un aumento en la precisión de las estimaciones.

Myung *et al.*, citados por Cunha *et al* (2009) indican que cuanto menor el número de parámetros, se necesitará menos cálculos y con ello menor será su complejidad general. En los resultados se observa que la ecuación más sencilla y aplicativa en campo, por la medición de menos parámetros es la que está en función al DAP (Modelo 1), que, aunque tiene un IF alto cumple con todos los criterios estadísticos necesarios. Asimismo, la ecuación en función al DAP y altura total (Modelo 37), también es una buena alternativa.

Por otro lado, la ecuación seleccionada que está en función el DAP, la altura y el diámetro de copa genera una mayor correlación y los datos estimados tienen una mayor precisión; sin embargo, por requerir más medidas en campo, conlleva a tomar más tiempo y por ello podría generar más costo.

Se observa además que la copa viene a ser una variable importante para las ecuaciones debido a la relación que tiene con el DAP y la altura. Como lo indica Malleux (1982), el diámetro de copa como parámetro independiente no tiene mucho valor, y solo da una idea sobre la proporción del tamaño del árbol, mientras que cuando va correlacionada con otro parámetro cuantificable, expresa un valor más directo.

La ecuación seleccionada para la estimación de biomasa puede ser utilizada como base para la estimación de carbono en este tipo de bosques relictos, en donde suele predominar solo esta especie. Sin embargo, para ello debería existir una base de datos indicando la densidad de la especie (individuos /ha.) o a través de un inventario forestal.

Como dato general está el proveniente de un estudio de la especie *Myrcianthes osteomeloides* donde Mendoza *et al.* (2009) indican que la densidad de la especie mencionada es de 375 ind./ha. Tomando como referencia este dato, se calcula que de forma aproximada la biomasa aérea por hectárea de la especie *Myrcianthes oreophila* sería de 40 867,5 kg.

4.10.2. ECUACIONES DE VOLUMEN

En el caso de la estimación de volumen se realizó el mismo procedimiento, evaluando los mismos criterios.

Una vez seleccionadas los modelos de ecuaciones ponderadas y sin ponderar que cumplieron con todos los criterios, se procedió a aplicar el índice de Furnival a las dos ecuaciones ponderadas de volumen y a las ecuaciones originales, las cuales se presentan en la Tabla 43.

Cuadrado medio del error:

Para el caso de las 4 ecuaciones no ponderadas se tomó en cuenta lo indicado por Barrena (1988) que indica que cuando no se han transformado las variables ni se ha ponderado, se seleccionará en función a la raíz del CME.

Índice de Furnival (IF):

Comparando todos los resultados y tomando en cuenta todos los criterios establecidos, se tomó como criterio determinante el IF, seleccionando como la mejor ecuación aquella que presentó menor valor de IF o menor raíz del CME.

Como se observa en la Tabla 43, todas las ecuaciones de volumen seleccionadas incluyen las variables de DAP y Altura total.

Tabla 43: Ecuaciones seleccionadas para la estimación de volumen.

Nº	Ecuación de volumen	IF=s*antilog(1/n* Σlogp)
22	$V = -0,07596+0,0260*Ht + 0,000065629706955592*DAP^{2,5}$	0,02238
24	$V = -0,06199+0,0271 *Ht + 0,0000113658239044677*DAP^3$	0,02263
31	$V = -0,0384+0,0020 * DAP*Ht$ $V / DAP^{0,2}*Dc = -0,0444+0,0258*Dc+0,0002*DAPxHt^2/$	0,02284
103	$DAP^{0,2}*Dc$	0,02128
104	$V = -0,0432+ 0,0344*Dc+0,000017*DAPxHt^3$ $V / DAP^{0,5}*Dc = -0,0413+ 0,0021 *Ht^2+0,0019*DAPxDc/$	0,02898
113	$DAP^{0,5}*Dc$	0,01858

Para los modelos de ecuaciones de volumen se seleccionó la ecuación 22, la cual es no ponderada. Y aunque no presenta el menor IF, presenta uno de los IF más bajos y una buena distribución a nivel de análisis de residuos; cumpliendo de esta forma con los supuestos y criterios definidos:

$$V = -0,07596257 + 0,026029393 * Ht + 0,000065629706955592 * DAP^{2,5}$$

Aunque la ecuación seleccionada brinda resultados cercanos al volumen calculado, debe considerarse que tal como lo mencionan Diéguez *et al.* (2003), los “volúmenes reales” no se conocen exactamente, dado que estos se calculan mediante la fórmula de Smalian, que suele brindar resultados cercanos a la realidad para trozas de tipo dendrométrico cilindro, pero en muchos casos cubicando por exceso.

En la especie evaluada *Myrcianthes oreophila*, se encontraron individuos de hasta 54 cm de diámetro, los cuales no fueron evaluados por su accesibilidad. Por lo que las ecuaciones obtenidas para la estimación de biomasa y volumen se restringen para ser utilizadas dentro del rango diamétrico obtenidos en las muestras, es decir, entre los 10 y 34,1 cm de diámetro a la altura del pecho.

4.10.3. COMPARACIÓN DE BIOMASA Y VOLUMEN ESTIMADOS Y CALCULADOS

Para verificar la precisión de la ecuación se utilizó la ecuación seleccionada para estimar la biomasa de los individuos evaluados y comparándola con la biomasa total obtenida en campo se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 44.

Tabla 44: Comparación entre Biomasa estimada y biomasa calculada real.

Individuo	DAP (cm)	Altura total (m)	Biomasa estimada (kg)	Biomasa real (kg)	Error (kg)	Error (%)
U001	13,5	4,1	62,45160066	68,1757	5,7241	8,40
U002	10,2	4,35	47,74784769	38,9782	-8,7696	-22,50
U003	13,5	3,4	60,15089982	66,6607	6,5098	9,77
U004	13,4	4,24	66,89928584	55,3515	-11,5478	-20,86
U005	12,8	4,33	69,28430234	56,885	-12,3993	-21,80
U006	18,5	4,835	90,45001111	86,4075	-4,0425	-4,68
U007	24,8	6,2	145,9045286	134,2332	-11,6713	-8,69
U008	17,5	5,24	90,94579739	93,9713	3,0255	3,22
U009	17,1	4,35	87,48831798	108,551	21,0627	19,40
U010	19	6,22	122,4855841	129,2339	6,7483	5,22
U011	11,9	5,57	72,60190317	70,951	-1,6509	-2,33
U012	18,7	6,06	112,2001858	95,6687	-16,5315	-17,28

Continuación

Individuo	DAP (cm)	Altura total (m)	Biomasa estimada (kg)	Biomasa real (kg)	Error (kg)	Error (%)
U013	12,4	4,71	56,74654894	62,5025	5,7560	9,21
U014	23,4	5,22	120,8298295	123,0749	2,2451	1,82
U015	18,5	6,7	123,2602469	141,2278	17,9676	12,72
U016	15,5	6,58	97,24238825	105,9164	8,6740	8,19
U017	14,2	6,48	83,26468311	88,1965	4,9318	5,59
U018	13,8	5,66	85,65574258	65,8031	-19,8526	-30,17
U019	11,1	5,74	61,70875141	61,2104	-0,4984	-0,81
U021	17,5	4,51	83,98562093	76,623	-7,3626	-9,61
U022	15,6	6,09	98,97976424	118,0288	19,0490	16,14
U023	13,5	4,79	61,26522234	56,0561	-5,2091	-9,29
U024	12,6	5,17	57,08995187	57,4897	0,3997	0,70
U025	14	4,14	56,42610637	53,663	-2,7631	-5,15
U026	17	6,34	101,4211327	99,0765	-2,3446	-2,37
U027	18	5,42	94,04517963	93,9007	-0,1445	-0,15
U028	19,3	5,44	109,5779261	103,9739	-5,6040	-5,39
U029	28,8	7,9	222,865944	205,1642	-17,7017	-8,63
U030	19	5,58	108,0600869	127,0781	19,0180	14,97
U031	22,2	8,67	180,6243953	176,5345	-4,0899	-2,32
U032	32,1	8,2	241,2601565	258,0482	16,7880	6,51
TOTAL (kg)			3072,919942	3078,636		
PROMEDIO					0,1844	1,62

Como se observa en la Tabla 44, el promedio de los errores con respecto a la biomasa real que se generan al aplicar la ecuación seleccionada es de 1,62 por ciento aproximado por individuo y en promedio subestima en 0,1844 kg por individuo con respecto a la biomasa real.

Utilizando la ecuación para la estimación de biomasa aérea seleccionada se obtuvo una biomasa estimada de los 31 individuos de *Myrcianthes oreophila* de 3072,92 kg que de forma promedio subestima a la biomasa aérea real obtenida en campo cuyo total es de 3078,64 kg; la diferencia entre lo obtenido a través de la estimación, equivale al 0,19 por ciento del total y presenta un error aleatorio, pues en algunos casos sobreestima y en otros subestima la biomasa para cada individuo.

La ecuación seleccionada tiene una precisión de 99,81 por ciento. Es decir, que utilizando la ecuación podemos llegar a estimar la biomasa total con una precisión de 99,69 por ciento. Por ello, se puede inferir que la ecuación elegida presenta un buen ajuste.

Con respecto a la estimación de biomasa total de esta especie, la ecuación puede ser utilizada de forma independiente a cualquier momento del año, dado que se trata de una especie perennifolia y no habrá muchas variaciones con respecto al follaje.

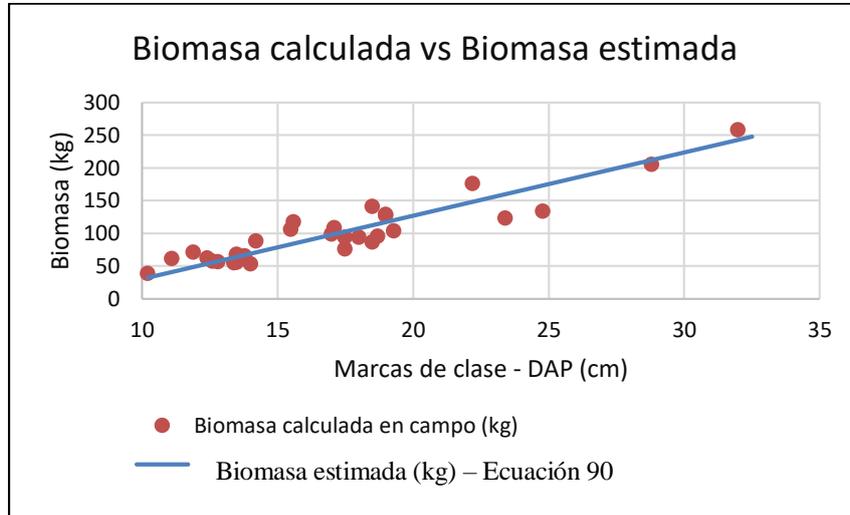


Figura 54. Comparación entre biomasa real y estimada mediante la ecuación seleccionada según marcas de clase del DAP

Como se observa, el error disminuye cuando el DAP varía entre 10-15 cm y aumenta cuando el DAP es mayor a 15 cm, lo que puede deberse a la variación que existe durante el desarrollo del árbol en la altura total y en el diámetro de copa. En DAP mayores a 25 cm se observa que el error vuelve a disminuir, sin embargo, para corroborar dicha información se necesita de una mayor cantidad de individuos en esa clase diamétrica.

Posteriormente, para determinar la precisión y eficiencia de la ecuación para estimar volumen también se realizó la comparación entre el volumen real y el estimado para los individuos evaluados en campo.

Con respecto al uso de la ecuación N°1, la cual está en función al DAP, el porcentaje de error promedio por individuo es de 2,43 por ciento.

Tabla 45: Comparación entre Volumen estimado y volumen calculado real.

Individuo	DAP (cm)	Altura total (m)	Volumen Estimado (m³)	Volumen real total (m³)	Error (kg)	Error (%)
U001	13,5	4,1	0,074705513	0,086789	0,01208349	13,92
U002	10,2	4,35	0,059072539	0,042282	-0,01679054	-39,71
U003	13,5	3,4	0,056484938	0,091941	0,03545606	38,56
U004	13,4	4,24	0,0775403	0,087524	0,0099837	11,41
U005	12,8	4,33	0,075214985	0,077499	0,00228402	2,95
U006	18,5	4,835	0,146501259	0,12861	-0,01789126	-13,91
U007	24,8	6,2	0,286435222	0,284219	-0,00221622	-0,78
U008	17,5	5,24	0,144512008	0,146761	0,00224899	1,53
U009	17,1	4,35	0,116623294	0,160859	0,04423571	27,50
U010	19	6,22	0,189212701	0,221733	0,0325203	14,67
U011	11,9	5,57	0,10108147	0,094787	-0,00629447	-6,64
U012	18,7	6,06	0,181019602	0,156719	-0,0243006	-15,51
U013	12,4	4,71	0,082170737	0,076756	-0,00541474	-7,05
U014	23,4	5,22	0,233747017	0,200702	-0,03304502	-16,46
U015	18,5	6,7	0,195046077	0,228563	0,03351692	14,66
U016	15,5	6,58	0,157387692	0,150468	-0,00691969	-4,60
U017	14,2	6,48	0,142575825	0,134528	-0,00804782	-5,98
U018	13,8	5,66	0,106867	0,117793741	0,01092674	9,28
U019	11,1	5,74	0,085944	0,100386786	0,01444279	14,39
U021	17,5	4,51	0,466678	0,53158256	0,06490456	12,21
U022	15,6	6,09	0,121963	0,125510551	0,00354755	2,83
U023	13,5	4,79	0,177002	0,145639379	-0,03136262	-21,53
U024	12,6	5,17	0,093718	0,092665794	-0,00105221	-1,14
U025	14	4,14	0,096023	0,095594494	-0,00042851	-0,45
U026	17	6,34	0,07355	0,079929637	0,00637964	7,98
U027	18	5,42	0,136666	0,167266665	0,03060067	18,29
U028	19,3	5,44	0,157926	0,155332358	-0,00259364	-1,67
U029	28,8	7,9	0,153808	0,173034721	0,01922672	11,11
U030	19	5,58	0,388428	0,421803352	0,03337535	7,91
U031	22,2	8,67	0,148766	0,17255389	0,02378789	13,79
U032	32,1	8,2	0,329353	0,302111542	-0,02724146	-9,02
TOTAL (m³)			4,8560232	5,0519455		
PROMEDIO					0,006320	2,53

Como se observa en la Tabla 45, el promedio de los errores con respecto al volumen real que se generan al aplicar la ecuación seleccionada es de 2,53 por ciento aproximado por individuo

y en promedio subestima en $0,006320 \text{ m}^3$ por individuo con respecto al volumen real calculado mediante Smalian.

Utilizando la ecuación para la estimación de biomasa aérea seleccionada se obtuvo un volumen estimado total de los 31 individuos de la especie *Myrcianthes oreophila* de $4,856023 \text{ m}^3$ que subestima con respecto al volumen real obtenido con los datos de campo cuyo valor es de $5,051946 \text{ m}^3$. La diferencia es correspondiente al 3,88 por ciento del total. La ecuación seleccionada tiene una precisión de 96,12 por ciento, por lo que se puede inferir que la ecuación elegida presenta un buen ajuste.

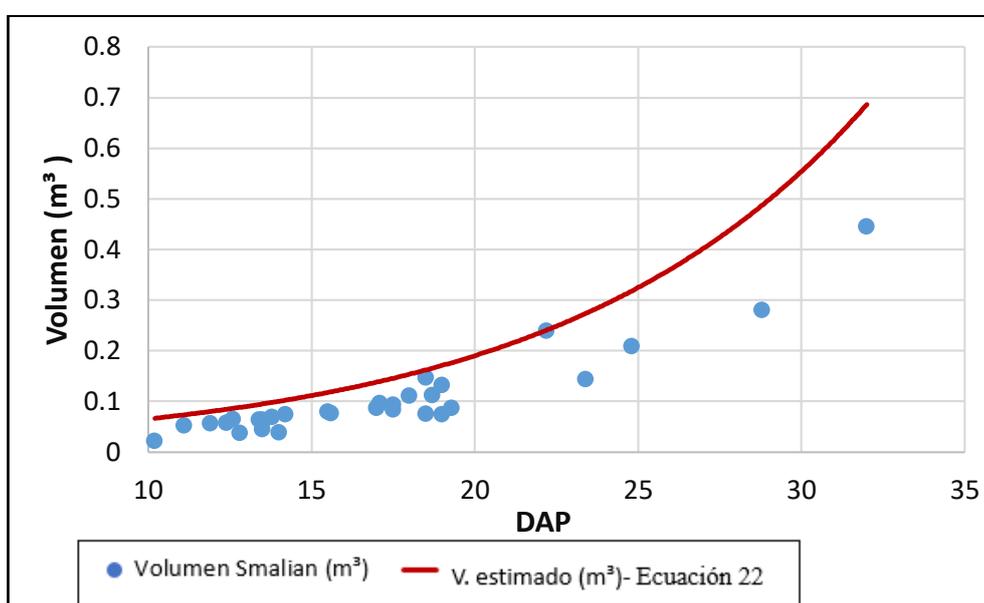


Figura 55. Comparación entre Volumen real calculado y Volumen estimado mediante la ecuación seleccionada.

Como se observa, a pesar de que la ecuación de volumen depende solo de dos variables (altura total y diámetro a la altura del pecho), existe un mayor error en la estimación en las clases diamétricas mayores, debido a que la variable DAP está elevada al exponente 2,5. Finalmente, es importante resaltar que las ecuaciones podrían utilizarse en otros sitios siempre y cuando presenten características diamétricas y de altura similares a las de los árboles de la zona evaluada, pudiendo ser útil pero no tan precisa en bosques con árboles de mayores dimensiones.

V. CONCLUSIONES

- 1) La ecuación que estima con mayor precisión la biomasa aérea en kilogramos de la especie *Myrcianthes oreophila* es:

$$B = -17,04134921 + 11,29882432 * Dc + 0,72171752 * DAP * Ht$$

- 2) La ecuación que estima con mayor precisión el volumen en metros cúbicos de la especie *Myrcianthes oreophila* es:

$$V = -0,07596257 + 0,026029393 * Ht + 0,000065629706955592 * DAP^{2,5}$$

- 3) La ecuación para la estimación de biomasa que podría ser más aplicativa en campo para la especie *Myrcianthes oreophila* es:

$$B = -50,3962 + 8,7664 * DAP$$

- 4) La biomasa aérea total de un individuo promedio con un DAP entre 20 -25 cm de la especie *Myrcianthes oreophila* es de 144,61 Kg, distribuido en 37,53 por ciento de fuste y 62,47 por ciento de ramas.
- 5) Las ecuaciones seleccionadas de biomasa y volumen son validadas para la especie *Myrcianthes oreophila* del bosque Yanaunca del distrito de Los Chankas, Provincia de Chincheros, Apurímac.
- 6) La metodología utilizada es recomendada para especies de las cuales no se cuenta con información previa, permitiendo desarrollar estimaciones más precisas de biomasa y volumen.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda desarrollar estudios donde se cuantifique las raíces de los individuos de la especie *Myrcianthes oreophila*.
- Dado que las ecuaciones corresponden a individuos de una zona de estudio determinada, se recomienda validar los modelos en otras zonas.
- Para lograr una mayor precisión en la cuantificación del carbono en la especie *Myrcianthes oreophila*, se recomienda determinar la fracción de carbono en laboratorio.
- En el desarrollo de este tipo de metodología, se recomienda evaluar al menos 10 por ciento más de la cantidad de individuos necesarios para asegurar que se tengan los datos de al menos 30 individuos.
- Aunque las coordinaciones y trabajo con autoridades, instituciones y comunidades; no son rápidas, ni sencillas, es importante asumir con responsabilidad los compromisos realizados, así como respetar las opiniones o consideraciones que tengan.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, E. (2010). Análisis estadísticos de datos usando MINITAB. Tercera Edición. Universidad de Puerto de Rico.
- AIDER (Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral). (2015). Proyectos de carbono forestal en el Perú. La experiencia de AIDER para mitigar el cambio climático. Ed. P. Recavarren Lima, Perú.
- Aguayo, M. (2007). Relación o asociación y análisis de la dependencia (o no) entre dos variables cuantitativas Correlación y regresión lineal simple. Cómo realizar “paso a paso” un contraste de hipótesis con SPSS para Windows. Documento Técnico N° 0702005.
- Alcántara, J. (1997). *Propagación sexual y asexual de Myrcianthes oreophila (Diels) en Canta. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Alvarado, J.& Obagi, J. (2008). Inferencia Estadística. Primera edición. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Álvarez, S. (2009). Optimización de la planificación forestal considerando la captura de carbono en bosque de pino-encino de la sierra de Juárez Oaxaca. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Andrade, H. & Segura, M. (2008). Como construir modelos alométricos de volumen biomasa o carbono de especies leñosas perennes. *Revista Agroforestería en las Américas* 46: 89-96

- Arias, D. (2004). Estudio de las relaciones altura-diámetro para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la Zona Sur de Costa Rica. *Kurú: Revista Forestal Mesoamericana Kurú* Vol. 1, Núm. 2 (2004); pág. 33-43. Costa Rica. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5123200.pdf>
- Armenteras, D., Gast, F., Villareal, H. (2003). Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the Eastern Andes. *Biological Conservation*, 245-256.
- Arreaga, W. (2002). *Almacenamiento de carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala. (Tesis de maestría)*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza.
- ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales). (2005). ASTM D1036-99, Standard Test Methods of Static Tests of Wood Poles, ASTM International, West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos de América.
- Bailey, L. (1994). A Compatible Volume-Taper Model Based On the Schumacher and Hall Generalized Constant Form Factor Volume Equation *Forest Science*. 40: 301-313.
- Baiker, J. (2011). Guía ecoturística: Mancomunidad Saywite-Choquequirao-Ampay (Apurímac, Perú). Con especial referencia a la identificación de fauna, flora, hongos y líquenes en el departamento de Apurímac y sitios adyacentes en el departamento de Cusco. Serie Investigación y Sistematización N° 15. Programa Regional ECOBONA- INTERCOOPERATION.
- Barrena, V., Dance, J. & Sáenz, D. (1986). Metodología para la selección de ecuaciones de volumen. *Revista Forestal del Perú* 13(2): 3-12. Recuperado de: [https://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol13_no2_86_\(18\)/vol13_no2_art1.pdf](https://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol13_no2_86_(18)/vol13_no2_art1.pdf)
- Barrena, V. (1988). La regresión ponderada en la elaboración de las ecuaciones de volumen. *Revista Forestal del Perú* 15(2): 21-28. Lima, Perú.
- Bautista, C. (2000). Estimación del volumen de un rodal cultivado usando índices de forma. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Brako, L. y Zarucchi, J. (1993). Catalogue of the flowering plants and gymnosperms of Perú. Missouri Botanic Garden, Monographs in Systematic Botany, 45.

- Brown, S.; Gillespie, A. y Lugo, A. (1989). Biomass estimation methods for Tropical Forest with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35: 881-902.
- Brown, S. (1997). *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer*. For the Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO - Forestry Paper. Roma, Italia. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/w4095e/w4095e00.htm>
- Brown, S. y Lugo, A. (1992). Aboveground biomass estimates for Tropical Moist Forests of the Brazilian Amazon. *Revista Interciencia* 17: 8-18. Recuperado en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0249E/A0249E.PDF>
- Bubb, P., May, I., Mile, S., y Sayer, J. (2004). *Cloud Forest Agenda*. UNEP-WCMC. Cambridge, United Kingdom. Recuperado de: http://www.unep-wcmc.org/resources/publications/UNEP_WCMC_bio_series/20.Htm
- Bussab, W. (1986). *Análise de variância e de regressão. Métodos Quantitativos*. v.7. São Paulo, Brasil.
- Busmann, R. (2005). Bosques andinos del sur de Ecuador, clasificación, regeneración y uso. *Revista Peruana de biología*. 12: 203-216.
- Cailliez, F. (1980). *Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento: Estudios FAO Montes*. Roma, Italia.
- Calderón, M. & Lozada, V. (2010). Determinación de biomasa y contenido de carbono en plantaciones forestales de *Polylepis incana* y *Polylepis reticulata*. Quito, Ecuador. Recuperado de: <http://www.sidalc.net/repdoc/A11216e/A11216e.pdf>
- Camones, R. (2011). *Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea en la especie de Pinus patula Schiede, en el Callejón de Huaylas – departamento de Ancash. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M., Chambers, J., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J., Nelson, B., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B. & Yakamura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*.
- Chave, J. (2006). *Medición de densidad de madera en árboles tropicales. Manual de campo*: Universidad Paul Sabatier. Evolution et diversité Biologique. France.

- Chatterjee, S; Price, B. (1999). *Regression Analysis by Example*. Ed. John Wiley & Sons, Inc. U.S.A
- CAEM (Corporación ambiental empresarial). (2014). Crecimiento, biomasa acumulada y carbono capturado de 25 especies de árboles y arbustos nativos de la cordillera oriental colombiana.
- Cancino, J. (2006). *Dendrometría básica*. Facultad de Ciencias Forestales: Universidad de Concepción. Chile.
- Carpio, J. (2017). *Flora arbórea y arbustiva del bosque de Ustuna, centro poblado Santa Isabel de Chumbes, distrito Ocos, provincia Huamanga. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Huamanga, Ayacucho.
- Cossios, D. (2018). Primer producto de la consultoría sobre Actualización del perfil de biodiversidad del país - Sección VII del 6to Informe Nacional al CDB. INFORME Sobre estado y tendencias de la diversidad de ecosistemas del Perú.
- Cuesta, F., Peralvo, M. & Valarezo, N. (2009). Los bosques montanos de los Andes Tropicales. Una evaluación regional de su estado de conservación y de su vulnerabilidad a efectos del cambio climático. Quito, Ecuador.
- Cuesta, F., Postigo, J., Becerra, M.; Bustamante, M. & Peralvo, J. (2012). Panorama andino de cambio climático: Vulnerabilidad y adaptación en los Andes Tropicales. CONDESAN, SGCAN. Lima, Perú.
- Cunia, T. (1964). WeigHted least square method and construction of volume tables. *Forest Sciency* 10: 180-191.
- Cunia, T. (1979). On sampling trees for biomass tables construction: some statistical comments. *Proc. For. Inventory Workshop, SAF-IUFRO*, 643-664.
- Da Cunha, T.; Vargas, J & Hinojosa, M. (2009). Ajuste y selección de modelos de regresión para estimar el volumen total de árboles. Documento técnico No. 5. Proyecto FOMABO/ESFOR-UMSS: Escuela de Ciencias Forestales de la Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia.
- Da Cunha, T. & Guimaraes, C. (2009). Modelo de regresión para estimar el volumen total con corteza de árboles de *Pinus taeda* L. en el sur de Brasil. *Kurú: Revista Forestal*. 6(16): 1-15.

- Daetz, C. (2015). *Evaluación del crecimiento de plantaciones de eucalipto en Lanquín, Alta Verapaz. (Tesis de pregrado)*. Universidad Rafael Landívar. Verapaz, Guatemala.
- Dávalos, R., Sotelo, E. & Martínez, M. (2008). Almacenamiento de Carbono. Instituto Nacional de ecología. México.
- Davel, M., Jovanovski, A. & Mohr, D. (2005). Densidad básica de la madera de Pino oregón y su relación con las condiciones de crecimiento en la Patagonia Andina. *Revista Bosque* 26(3): 55-62.
- De Arce, R. & Mahía, R. (2009). Conceptos básicos sobre la heterocedasticidad en el modelo básico de regresión lineal tratamiento con e-views. Dpto. de Economía Aplicada Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España.
- Delaney, M., Brow, S., Lugo, A., Torres, L. & Quintero, N. (1997). The distribution of organic carbon in major components of forest located in five zones of Venezuela. *Journal Tropical Ecology*, 13.
- Delgado, H. (1989). Inventario de recursos curativos en centros de expendio formales e informales: Cusco. Serie: Apuntes de medicina tradicional, 73.
- De Mendiburu, F. (s.f). *Análisis de Regresión y Correlación*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. Recuperado de: <http://tarwi.lamolina.edu.pe/~fmendiburu/indexfiler/academic/Estadistica/parte6.pdf>
- Deza, M., Escalante, B., Dávila, L. & Sánchez, I. (2010). Cuantificación de las reservas de carbono en dos especies de *Polylepis* en Cajamarca, Perú. *Revista Fiat Lux* 6(2):51-58. Universidad Nacional de Cajamarca. Perú.
- Díaz, R., Acosta, M., Carrillo, F., Buendía, E., Flores, E. & Etchevers, J. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl.et Cham. *Maderas y Bosques*, 13(1). Instituto de Ecología. Xalapa, México.
- Diéguez, U., Barrio, M., Castedo, F., Ruiz, A., Álvarez, M., Álvarez, J. & Rojo, A. (2003). *Dendrometría: Mundi-Prensa*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid, España.
- Diéguez, U., Castedo, F., Álvarez, J. & Rojo, A. (2006). Compatible taper function for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantations in northwestern Spain. 36: 1190-1205.

- Díaz, F.; Acosta, M.; Carrillo, A.; Buendía, R.; Flores, A. & Etchevers, B. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Revista Madera y Bosques* 13: 25-34.
- Dirección Nacional de Construcción. (2014). Primer Capítulo: Agrupamiento de Maderas para uso Estructural. Subtítulo III.2 Norma Técnica Peruana E.010 para madera. Ministerio de vivienda.
- DNTDT (Dirección Nacional Técnica de demarcación Territorial, Perú). (2016). Expediente técnico individual de creación del distrito de Los Chankas, provincia de Chincheros, departamento de Apurímac.
- Duncan, J. (2005). *Biomasa aérea en una plantación de Austrocedrus chilensis de 20 años ubicada en Valdivia. (Tesis de pregrado)*. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- ECOBONA / INTERCOOPERATION. 2009. Incidencia política para la gestión social de ecosistemas forestales Andinos. Análisis y propuesta para el Perú. Serie Investigación y Sistematización 3(2):52-59. Recuperado de: https://assets.helvetas.org/downloads/03_incidencia_politica_peru.pdf
- Escobar, M. 2015. *Estudio de la volumetría de árboles en pie de caoba (Swietenia macrophylla King) en el departamento de Madre de Dios, Perú. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1980). Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Estimación del volumen. Italia. Roma.
- FAO. (2006). Global Forest Resources Assessment 2005. Progress towards sustainable forest management: FAO Forestry Paper, 147. Roma, Italia. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a0400e/a0400e00.htm>
- Ferrando, J., Goya, J., Barrera, M., Yapura, P. & Frangi, J. (2001). Biomasa y productividad aérea de bosques de *Austrocedrus chilensis* en Rio negro, Argentina. *Revista de la facultad de Agronomía* 104(2):139-149.
- Ferreira, O. (1990). Manual de inventarios forestales: Escuela Nacional de Ciencias Forestales. Siguatepeque, Honduras.

- Ferreira, M. (1972). Variacao da densidade basica da madeira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 años. IPEF 4: 65-89.
- Finegan, B. (1996). Patter and process in neotropical secondary forest: the first 100 years of succession. *Trends in Ecology and Evolution* 11(3):119 – 124.
- Flores, C. (1995). Ecuación del volumen de una población ribereña de *Cedrela odorata* en Madre de Dios – Perú. *Revista Forestal del Perú* 22(1-2): 15-26.
- Floriano, E. (2004). *Efeito da Desrrama Sobre o Crescimento e a Forma de Pinus elliottii Engelm. (Tesis de maestria)*. Universidade Federal de Santa María. Brasil.
- Foster, P. (2001). The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Resumen Earth-Science* 55:73-106. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(01\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00056-3)
- Frederick, D.; Madgwick, H. & Oliver, G. (1982). Wood basic density and moisture content of young *Eucalyptus regnans* grown in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science* 12 (3).
- Fucaraccio, F. & Staffieri, G. (1999). Desarrollo y uso de Ecuaciones de Volumen y tablas de Volumen en la República Argentina. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
- Furnival, G. (1961). An Index for comparing equations used in constructing volumes tables. *Forest Science* 7(4): 337-341.
- Gálmez, V. (2013). *Retribución por Servicios Ambientales. Documento de estado de Arte. HELVETAS Swiss Intercooperation / ASOCAM para el Programa Manejo Forestal Sostenible (MFS)*.
- Gálmez, V. & Kómetter, R. (2009). *Perspectivas y posibilidades de REDD+ en Bosques Andinos. Serie Investigación y Sistematización, 11. Programa Regional ECOBONA - INTERCOOPERATION. Lima, Perú. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a0400e/a0400e00.htm>*
- García, O. (1995). *Apunte de Mensura forestal. Cap. Estadística: Universidad Austral de Chile*.

- Garcíaño, J. (1995). *Biomasa aérea en plantaciones jóvenes de Eucalyptus globulus (lab.) en la costa de Valdivia. (Tesis de pregrado)*. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Gasco, V. (2018). *La Avifauna en un Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIASd) en Minería. (Tesis de pregrado)*. Universidad Ricardo Palma. Lima, Perú.
- Gayoso, A. & Guerra, C. (2005). Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Revista Bosque* 26(2):33–38. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002005000200005>.
- Girardin, C., Malhi, Y., Araga, L., Mamani, M., Huaraca, W., Durand, L., Feeley, K., Rapp, E., Silva, J., Silman, M., Salinas, N. & Whittaker, J. (2010). Net primary productivity allocation and cycling of carbon along a tropical forest elevational transect in the Peruvian Andes. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02235.x>
- Gobierno Regional de Apurímac. (2014). *Estrategia Regional de Diversidad Biológica ERDB-APURIMAC (2014 - 2021) y Plan de Acción Regional de Diversidad Biológica para la Región Apurímac PARDB - Apurímac (2014 - 2018)*.
- Goché, J., Fuentes, M., Borja, A. & Ramirez, H. (2000). Variación de las propiedades físicas de la madera en un árbol de *Abies religiosa* y de *Pinus ayacahuite* var. *Veitchii*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 6(1): 83-92.
- González, M. (2008). *Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de Pinus maximinoi H. E. Moore, Pinus oocarpa var. ochoterenai Mtz. y Quercus sp. en el norte del Estado de Chiapas, México. (Tesis de maestría)*. Centro Agronómico Tropical De Investigación y Enseñanza. Costa Rica.
- Gorbitz, G. (2011). *Determinación de las Reservas de Carbono en la Biomasa Aérea en Plantaciones de 8 años de Calycophyllum spruceanum en el Valle del Aguaytía. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Gottle, A. & Sène, E. M. (1997). Tema: Función protectora y ambiental de los recursos forestales. Funciones protectoras y ambientales de los bosques. Adaptación de la memoria general preparada para el XI Congreso Forestal Mundial: FAO. Roma, Italia.

- Guillen, R. (2014). *Estimación del Volumen de la Caoba (Swietenia macrophylla King) usando ecuaciones de Ahusamiento para el Departamento de Madre de Dios. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Gujarati, D. (1992). *Econometría Básica*: McGraw-Hill. Latinoamericana S.A. Colombia.
- Gujarati, D. (2006). *Principios de Econometría*: Mc Graw Hill. Cap. 13.
- Higuchi, N, Santos, J, Ribeiro, R, Miente, L. & Biot, Y. (1998). Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra – firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazónica* 28:153–166.
- Huaranca, J., Ruiz, O. & Fernández, M. (2006). Folivoría en Fragmentos de Bosque de *Polylepis besseri* en Sacha Loma, Cochabamba, Bolivia. II Congreso de Ecología y Conservación de Bosques de *Polylepis*. Cusco, Perú.
- Huwasquiche, J. & Kómetter, R. (2017). El aporte de los saberes comunales andinos en la utilización de los bienes y servicios ecosistémicos Estudio de la Mancomunidad Saywite Choquequirao Ampay en Apurímac, Perú.
- Huges, R., Kauffman, J. & Jaramillo, V. (1999). Biomass, carbon and nutrients dynamics of secondary forests in a humid tropical region of Mexico. *Revista Ecology* 80(6):1892-1907.
- Husch, B.; Beers, T. & Kershaw, J. (2003). *Forest mensuration*. 4^a edition: John Wiley and Sons, Inc. New York, United States of America.
- International Organization for Standardization. (1982). ISO 4471 - La madera: Muestreo prueba en árboles y troncos para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de madera en soportes homogéneos.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático del PNUMA y OMM). (2001). *Climate Change 2001: Glosario de términos*. Anexo B. Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero*. Recuperado de: www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/0_Overview/V0_0_Cover.pdf

- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Josse, C., Navarro, G., Comer, P., Evans, R., Faber-Langendoen, D., Fellows, M., Kittel, G., Menard, S., Pyne, M., Reid, M., Schulz, K., Snow, K. & Teague, J. (2003). *Ecological Systems of Latin America and the Caribbean: A Working Classification of Terrestrial Systems*. NatureServe. Arlington, USA.
- Josse, C., Cuesta, F., Navarro, G., Barrena, V., Cabrera, E., Chacón, E., Ferreira, W., Peralvo, M., Saito, J. & Tovar, A. (2009). *Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela*. Secretaría General de la Comunidad Andina. Programa Regional ECOBONA, CONDESAN-Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, LTA-UNALM, ICAE-ULA, CDC-UNALM, RUMBOL SRL. Lima, Perú.
- Josse, C., Cuesta, F., Navarro, G., Barrena, V., Becerra, M., Cabrera, E., Chacón, E., Ferreira, W., Peralvo, M., Saito, J., Tovar, A. & Naranjo, L. (2011). *Physical Geography and Ecosystems in the Tropical Andes*. En: Herzog, S., Martínez, R., Jørgensen, P., Tiess, H. *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes*.
- Juarez, Y. (2014). *Dasometría - Apuntes de Clase y Guía de Actividades Prácticas*. 1ra Edición. Cochabamba, Bolivia.
- Kessler, M., Grytnes, J., Halloy, S., Kluge, J., Krömer, T., León, B., Macía, M. & Young, K. (2011). *Gradients of Plant Diversity: Local Patterns and Processes* En: Herzog, S., Martínez, R., Jørgensen, P. y Tiess, H. *Climate change and biodiversity in the tropical Andes*.
- Kier, G., Kreft, H., Lee, T., Jetz, W., Ibisch, P.; Nowicki, C.; Mutke, J. & Barthlott, W. (2009). *A global assessment of endemism and species richness across island and mainland regions*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106.
- Killeen, T., García, E. & Beck, S. (1993). *Guía de ÁRBOLES de Bolivia*. Herbario nacional de Bolivia. Missouri Botanical Garden, 586-587. Recuperado de: http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnaca189.pdf

- Kuniyoshi, K. (2004). *Estudio ecológico, silvícola y usos del guayabillo (Myrcianthes fragrans Sw) McVaugh, en bosques latifoliados de Honduras. (Tesis de pregrado)*. Universidad Zamorano. Tegucigalpa, Honduras,
- Lam, R. (2011). *Estimación de la Cantidad de Carbono capturado por el fuste del (Loxopterigium huasango Sprunce) en el Bosque Seco de Sullana, Piura, Perú. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Landrum, L. (1981). A monograph of the genus Myrceugenia (Myrtaceae). New York, United States of America, Botanical Garden, Bronx.
- Lausberg, M.; Gilchrist, K. & Skipwith, J. (1995). Wood properties of *Eucalyptus nitens* grown in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science* 25(2): 147-163.
- Larrea, G. (2007). *Determinación de las Reservas de Carbono en la Biomasa Aérea de Combinaciones Agroforestales de Theobroma cacao L. en el departamento de San Martín. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Levin, R. & Rubin, D. (2004). *Estadística para Administración y economía. Séptima Edición: Pearson Educación – Prentice Hall. México.*
- Lind, D., Marchal, W. & Mason, R. (2004). *Estadística para administración y economía. Onceava Edición: Alfaomega. México.*
- Llanos, M. (2010). *Determinación de la biomasa aérea total del algarrobo Prosopis pallida (H&B. Ex Willd.) HBK Var Pallida ferreira en los bosques secos de la comunidad Campesina José Ignacio Távara Pasapera del departamento de Piura. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Loetsh, F., Zohrer, F. & Haller, H. (1973). *Forest Inventory. v. 2. Munich, Alemania.*
- Lojan, L. (1992). *Verdor de los Andes: Proyecto Desarrollo Forestal Participativo en Los Andes. Quito, Ecuador.*
- Lopera, G. & Gutiérrez, V. (2000). *Viabilidad técnica y económica de la utilización de plantaciones de Pinus patula como sumideros de CO₂ (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Lopera, G. & Gutiérrez, V. (2001). *Flujo de carbono y respuesta a diferentes estrategias de manejo en plantaciones tropicales de Pinus patula. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.*

- Macdiken, K. (1997). A guide to monitoring carbón storage in forestry and agroforestry projects. Forest Carbon Monitoring Program: Winrock International Institute for Agricultural Development.
- Maggio, A. & Cellini, J. (2016). Recopilación de ecuaciones de volumen y biomasa de especies forestales de la República Argentina. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable.
- Málaga, N., Giudice, R., Vargas, C. & Rojas, E. (2014). Estimación de los contenidos de carbono de la biomasa aérea en los bosques de Perú. Ministerio del Ambiente y Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático.
- Malleux, J. (1982). Inventarios Forestales en Bosques Tropicales. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Martínez, E. (2005). Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. Real Centro Universitario Escorial Maria Cristina. San Lorenzo del Escorial. Anuario Jurídico y económico Escorialense.
- Masias, V. (2017). *Consideraciones para la medición de diámetros y alturas de árboles vivos de *Polylepis flavipila* (Bitter) M. Kessler & Schmidt-Leb. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Mathez, S. (2017). Agroforestería para la adaptación al cambio climático en los Andes: Aprendiendo de los conocimientos locales. ICRAF. I Foro Regional de Agricultura y Ganadería Familiar Andina. Huaraz, Perú.
- Méndez, J., Luckie, S., Capó, A. & Nájera, J. (2011). *Ecuaciones alométricas y estimación de incrementos en biomasa aérea y carbono en una plantación mixta de *Pinus devoniana* Lindl. y *Pinus pseudostrobus* Lindl., en Guanajato, México*. Agrociencia 45: 479-491. México. México. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v45n4/v45n4a7.pdf>
- Mendoza, M., Klitgaard, B., Milliken, W., Garvizu, M., Muñoz, M., Zappi, D. & Biggs, N. (2009). Vegetación del jardín de cactáceas de Bolivia. Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado. Santa Cruz, Bolivia.
- Meza, Y. (2013). Informe Técnico de Ampliación del Proyecto Eolo-eléctrico Honduras Estudio de evaluación forestal. Parque Eólico Cerro De Hula.

- Monteoliva, S., Nuñez, C. & Igartúa, A. (2002). Calidad del leño en *Eucalyptus globulus*: variaciones en la densidad básica y la longitud de fibras en lobería, provincia de Buenos aires, Argentina. *Revista de la facultad de agronomía* 105 (1). 13. Argentina.
- Montgomery, D., Peck, A. & Vining, G. (2006). *Introducción al análisis de regresión lineal*. 3a. ed. México.
- Myers, N., Mittermeier, R., Mittermeier, C., Da Fonseca, G. & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Morrissey, A. & Justus, J. (2001). *Global Climate Change*. Committee for The National Institute for the Environment. Congressional Research Service. United States of America. Recuperado de: https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metacrs1393/m1/1/high_res_d/IB89005_2001Jan12.pdf
- Novales, A. (1993). *Econometría*. Capítulo 6. Segunda edición.: Mac Graw Hill. Madrid.
- Olivieri, A. (2002). *Regresión lineal en química analítica*. Departamento de Química Analítica, Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas. Universidad Nacional de Rosario. Rosario, Argentina.
- Omote, M. & Valenzuela, L. (2011). Variación radial y longitudinal de la densidad básica en árboles de *Eucalyptus regnans* de 16 años. *Maderas, Ciencia y Tecnología* 13(2): 211-224. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2011000200009>.
- Orellana, L. (2008). *Regresión Lineal simple*. Materia de estadística. Curso de Estadística. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. Argentina.
- Osinaga, O., Báez, S., Cuesta, F., Malizia, A., Carrilla, J., Aguirre, N. & Malizia, L. (2014). *Monitoreo de diversidad vegetal y carbono en bosques andinos-Protocolo extendido*. Protocolo 2 - Versión 1. CONDESAN / IER-UNT / COSUDE. Quito, Ecuador.
- Palomo, J. (2011). *Regresión Lineal Múltiple*. Material de clase. Curso Estadística e investigación Operativa. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. Universidad Politécnica de Madrid.
- Parresol, B. (1999). Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science* 45(4). Washington, United States of America.

- Pérez, M., Fernández, C. & Sayer, J. (2007). Los servicios ambientales de los bosques. *Revista Ecosistemas*. 16(3): 81-90. Recuperado de: <https://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/95/92>
- Pérez, L. & Díaz, T. (2010). Estimación del carbono contenido en la biomasa de los bosques andinos en los departamentos de Santander y Cundinamarca. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.
- Picard N., Saint-André, L. & Henry, M. (2012). Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: Del trabajo de campo a la predicción. Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. Montpellier. Roma, Italia.
- Ramírez, D. (2006). Introducción a los modelos económicos. Capítulo: Heterocedasticidad. Departamento Académico del Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales. Universidad de Los Andes. Venezuela.
- Raymond, C. & Macdonald, A. (1998). Where to shoot your pilodyn: within tree variation in basic density in plantation *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* in Tasmania. *New Forests* 15: 205-221.
- Raymond, C. & Muneri, A. (2001). Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties. I. Basic density. *Wood Science and Technology* 35: 27-39.
- Rey, P. (2001). *Ensayos de germinación de 4 especies forestales del bosque de Zarate (Huarochirí-Lima). (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Reynel, C. (1990). Árboles y arbustos andinos para la agroforestería y conservación de suelos. Ministerio de Agricultura FAO. v.2.
- Reynel, C., Pennington, T., Pennington, R., Marcelo, J. & Daza, A. (2006). Árboles Útiles del Ande peruano. Una guía de identificación, ecología y propagación de las especies de la Sierra y los Bosques Montanos en el Perú.
- Reynel, C. & Marcelo, J. (2009). Árboles de los ecosistemas forestales andinos. Manual de identificación de especies. Programa Regional ECOBONA. Lima, Perú.

- Rivera, M. (2017). *Determinación de ecuaciones para estimar biomasa y contenido de carbono en la parte leñosa aérea de Polylepis flavipila "quinual" en el bosque Japoní - Huarochirí, Lima. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Rodríguez, L. (2016). *Contribución a la propagación de Myrcianthes rhopaloides (H.B.K) Me Vaugh "Lanche" en el caserío de Carpinteros Chalaco-Morropón. Piura. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Rojas, C.; Torres, F & Institución No Gubernamental SURINDESA. (2014). Plan de Desarrollo Concertado del distrito de Huaccana 2014-2021.
- Rojo, J. (2007). Regresión Lineal Múltiple: Laboratorio de Estadística. entro de Ciencias Humanas y Sociales. Consejo Superior de Investigación Científica. Madrid, España. Recuperado de: http://humanidades.cchs.csic.es/cchs/web_UAE/tutoriales/PDF/Regresion_lineal_multiple_3.pdf
- Rovira, C. (2003). Teorema del Limite Central. Estadística. Universidad Abierta de Cataluña.
- Rueda, C. (2014). *Estimación de las reservas de Carbono en la Biomasa aérea de una plantación de Inga edulis en Campo Verde, Ucayali. (Tesis de pregrado)*. Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Sala, O., Van Vuuren, D., Pereira, H., Lodge, D., Alder, G., Cumming, A., Wolters, V. & Xenopoulos, A. (2005). Biodiversity across Scenarios. En Carpenter, S.; Pingali, P.; Bennet E.; Zurek, M. The Millenium Ecosystem Assessment, 2: 375-406. Washington D.C.
- Samaniego, D. (2009). *Estimación de la cantidad de carbono capturado por Guazuma crinita en una plantación de 8 años en Ucayali. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Satoo, T. & Madgwick, H. (1982). Forest biomass. Forestry science. Martinus Nijhoff/Junk publishers London.
- Schulze, E., Wirth, Ch. & Heimann, M. (2000). Managing forests after Kyoto. Science 289: 2058-2059.

- Schlegel, B., Gayoso, J. & Guerra, J. (2000). Manual de procedimientos muestreos de biomasa forestal. Proyecto Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Universidad Autónoma de Chile, Chile. Recuperado de: https://www.uach.cl/procarbono/pdf/manuales/guia_destructivo.pdf
- Schumacher, F. & Hall, S. (1933). Logarithmic expression of tree volumen. Journal of Agricultural Research. 47 (9): 719-734.
- Segura, M. & Kanninen, M. (2002). Inventario para estimar carbono en ecosistemas forestales. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. CATIE. Serie Técnica. Manual Técnico 50: 173-212.
- SERNANP (Servicio Nacional de Areas Naturales Protegidas por el Estado). (2010). Caracterización ecosistémica del Santuario Histórico Machu Picchu. Recuperado de: [http://old.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/caracterizacion_del_SHM\[1\].pdf](http://old.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/caracterizacion_del_SHM[1].pdf)
- Sierra, C. (2001). *Biomasa radical de los bosques secundarios del área de influencia de la Central Hidroeléctrica Porce II. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Sierra, C., Del Valle, J. & Orrego, S. (2001). Ecuaciones de biomasa de raíces y sus tasas de acumulación en bosques sucesionales y maduros tropicales de Colombia. Medellín, Colombia.
- Silva, F. & Návar, J. (2012). Estimación de la densidad de madera en árboles de comunidades forestales templadas del norte del estado de Durango, México. Madera bosques v.18(1). <http://10.21829/myb.2012.1811139>
- Simbaña, N. (2011). *Estimación de la captura de carbono en plantaciones de Eucaliptus globulus Labill. (Tesis de maestría)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Steel, R. & Torrie, J. (1960). Principles and Procedures of Statistics with Special Reference to the Biological Sciences. Ed. McGraw Hill.

- Stephenson, L., Das, A., Condit, R., Russo, S., Baker, P., Beckman, N., Coomes, D., Lines, E., Morris, W., Rüger, N., Álvarez, E., Blundo, C., Bunyavejchewin, S., Chuyong, C., Davies, S., Duque, A., Ewango, C., Flores, O., Franklin, J., Grau, H., Hao, Z., Harmon, M., Hubbell, S., Kenfack, D., Lin, Y., Makana, J., Malizia, A., Malizia, L., Pabst, R., Pongpattananurak, N., Su, S., Sun, I., Tan, S., Thomas, D., Van Mantgem, P., Wang, X., Wiser, S. & Zavala, M. (2014). Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size. *Revista Nature. International Journey of Science* v.507.
- Stern, N. (2007). *La economía del Cambio Climático. The Stern Review*. Universidad de Cambridge. Recuperado de: <http://calentamientoglobalclima.org/2007/02/21/informe-stern-resumen-en-castellano/>
- Tejedor, N., Álvarez, E., Arango, S., Araujo, A., Blundo, C., Boza, T., La Torre, M., Gaviria, J., Gutiérrez, N., Jorgensen, P., León, B., López, R., Malizia, L., Millán, B., Moraes, M., Pacheco, S., Rey, J., Reynel, C., Timaná, M., Ulloa, C., Vacas, O. & Newton, A. (2012). Evaluación del estado de conservación de los bosques montanos en los Andes tropicales. *Ecosistemas* 21(1-2):148-166.
- Terán, J.; Dauber, E. & Guzmán, R. (2008). Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. *Revista Forestal Iberoamericana* 1(1):1-10.
- Tobón, C. (2009). *Los bosques andinos y el agua. Serie investigación y sistematización #4. Programa Regional ECOBONA-INTERCOOPERATION, CONDESAN*. Quito-Quito, Ecuador.
- Tobón, C. & Arroyave, F. (2007). Inputs by fog and horizontal precipitation to the páramo ecosystems and their contribution to the water balance. *Proceedings of the fourth international conference of fog, fog collection and dew. July 22-27, 2007. La Serena, Chile*.
- Tobón, C. & Gil, E. (2007). Capacidad de interceptación de la niebla por la vegetación de los páramos andinos. *Avances en Recursos Hidráulicos*. Universidad Nacional de Colombia; Medellín, Colombia.
- Torres, R. (2016). Comunicación personal (Entrevista). Chincheros, Apurímac. Perú.
- Uriel, E. (2013). *Contraste de hipótesis en el modelo de regresión lineal múltiple*. Universidad de Valencia. Valencia, España.

- Urquiaga, E. (2012). *Secuestro de Carbono por Polylepis sp. (Queñua) en bosques altoandinos en una microcuenca de Urubamba-Cusco. (Tesis de maestría)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Valencia, J. (2013). *Sistema volumétrico para Pinus oocarpa schiede y Pinus douglasiana en el estado de Durango. (Tesis de maestría)*. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Valencia, S. & Vargas, J. (1997). Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. *Revista Madera y Bosques* 3(1): 81-87. Instituto de Ecología. Xalapa, México.
- Valverde, J. (2017). *Determinación de la ecuación de la biomasa aérea de Eucalyptus globulus Labill de plantaciones en cercos vivos, distrito de Huertas, Junín. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Vásquez, R., Tovar, A., Palma, A., Mercado, W. & Gómez, H. (2017). Vulnerabilidad de los bosques y otros ecosistemas andinos de Saywite–Choquequirao–Ampay al cambio climático y las presiones antrópicas. Lima: HELVETAS Swiss Intercooperation y el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN).
- Vélez, I. (2003). *Apuntes de Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Administración*. Politécnico Grancolombiano, Bogotá, Colombia. Recuperado de: <http://www.gacetafinanciera.com/TEORIARIESGO/regresion.pdf>
- Walker, J., Butterfield, B., Harris, J., Langrish, T. & Uprichard, J. (1993). Primary wood processing, principles and practice, 158-170. Chapman y Hall. London, Inglaterra.
- WCMC (World Conservation Monitoring Centre). (2016). *Myrcianthes oreophila*. The IUCN Red List of Threatened Species. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T36732A10014806>
- Webster, G. (1995). The panorama of the Neotropical cloud forests en H. S. P. B. Churchill, E. Forero y J. L. Luteyn: Neotropical Montane Forest Biodiversity and Conservation Symposium. Biodiversity and conservation of neotropical montane forests.
- Young, K. & León, B. (1997). Eastern slopes of Peruvian Andes. En *Centres of Plant Diversity – The Americas*.

Young K. & León, B. (1999). Peru's humid eastern montane forests: An overview of their physical settings, biological diversity, human use and settlement, and conservation needs. Centre for Research on the Cultural and Biological Diversity of Andean Rainforests (DIVA). Technical Report 5.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Acta generada por la comunidad para el permiso de evaluación y corta de individuos para su estudio

121
LUMBER #1-102870

ACTA DE AUTORIZACIÓN

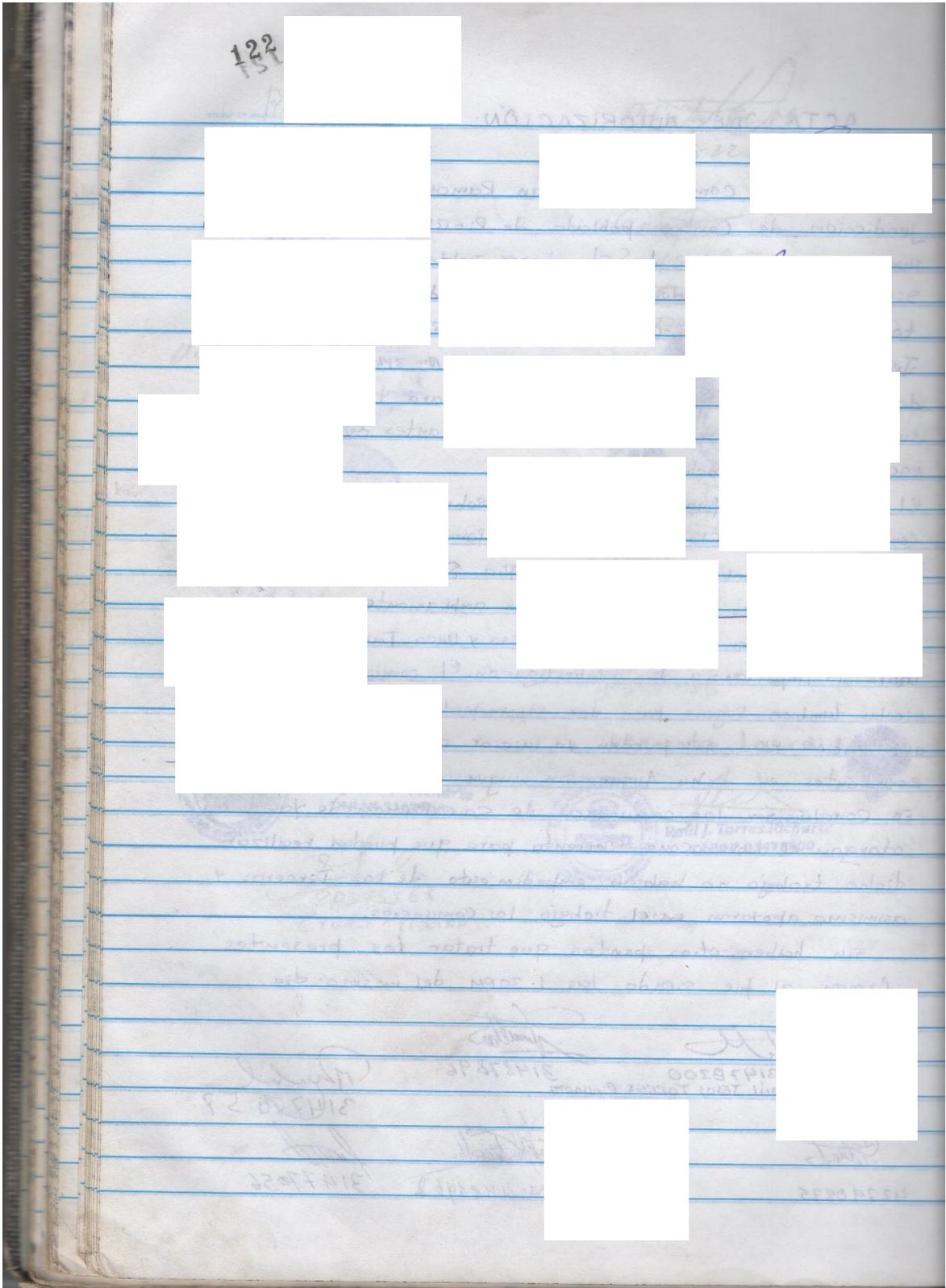
En el Local Comunal de San Ramon de Yanavilca Jurisdicción de Centro poblado de Rio Blanco de Distrito Huaccana, Provincia de Chiriqueros Depto de Apurimac, Siendo las 10: AM del día 03 de mayo del 2016, se reunieron todo los comuneros, convocado por el Sr. Presidente Raúl Jesús Torres Richarte identificado con DNI N° 31478300 con domicilio legal en San Ramon de Yanavilca para tratar sobre la autorización o consentimiento a los estudiantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

El presidente informa ampliamente sobre los recursos naturales como de fauna y flora de la misma forma tambien, si hicieron presentes las investigadoras, Maria Pia Sombiero-Erika Pinto Maldonado quienes tambien participaron ampliamente sobre la investigación científica de los especies Aliso y Unca, Tambien informo sobre la importancia de la investigación. El comunero Alfonso Nicolas tambien sugerió para dar el respectivo consentimiento o autorización para que puedan ya iniciar con el trabajo las estudiantes en dicho lugar sin ningun impedimento.

En conclusión los comuneros de San Ramon de Yanavilca otorgan el libre consentimiento para que puedan realizar dicho trabajo no habran impedimento de los Terceros y asimismo apoyaran en el trabajo los comuneros.

sin haber otros puntos que tratar las presentes firman al pie siendo las 1:30PM del mismo día.

[Redacted signature area]



Que, el artículo 154° Reglamento para la Gestión Forestal, aprobado mediante Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI, establece que el desarrollo de actividades de investigación básica taxonómica de flora silvestre, relacionadas con estudios moleculares con fines taxonómicos, sistemáticos, filogeográficos, biogeográficos, evolutivos y de genética de la conservación, entre otras investigaciones sin fines comerciales, son aprobadas mediante autorizaciones de investigación científica;

Que, la Tercera Disposición Final del Reglamento de Acceso a los Recursos Genéticos, aprobado por Resolución Ministerial N° 037-2008-MINAM, señala que la obtención de permisos, autorizaciones y demás documentos que otorguen entidades públicas, tales como el Ministerio de Agricultura y que amparen la investigación, obtención, provisión, transferencia u otro de recursos biológicos, con fines distintos a su utilización como fuente de recursos genéticos, no faculta a sus titulares a utilizar dichos recursos como medio para acceder a los recursos genéticos, ni determinan ni presumen autorización de acceso;

Que, mediante Resolución de Dirección Ejecutiva N° 031-2014-SERFOR-DE, de fecha 01 de octubre del 2014, emitida por el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR, se designó al Blgo. Mirbel Alberto Epiquién Rivera, las funciones de Director General de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal y de Fauna Silvestre del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR;

Que, el Informe Técnico N° 0306-2016-SERFOR-DGGSPFFS/DGSPF, de fecha 23 de junio de 2016, emitido por la Dirección de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal, concluye que la solicitud de colecta de flora silvestre sin acceso a recursos genéticos fuera de Áreas Naturales Protegidas y de sus Zonas de Amortiguamiento, se requiere para el desarrollo del Proyecto o Estudio "Estimación de biomasa de las especies *Alnus acuminata* y *Myrcianthes oreophila*", investigación básica que se enmarca el análisis del potencial de biomasa aérea y la capacidad de almacenamiento de carbono de dichas especies arbóreas. Los resultados de este plan de investigación proveerán de información específica diferenciada sobre la biomasa y carbono según las partes del árbol (fuste, ramas, follaje) en dos especies forestales, la cual servirá para un mejor diseño y efectividad de los proyectos de carbono; y,

De conformidad con el Reglamento de Organización y Funciones aprobado por Decreto Supremo N° 007-2013-MINAGRI y modificado por el Decreto Supremo N° 016-2014-MINAGRI.

SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Aprobar la **Autorización N° AUT-IFL-2016-018**, al señor Víctor Manuel Barrena Arroyo, y a los investigadores señalados en el Cuadro N° 01, para la realización de la investigación científica con colecta de flora silvestre, para el desarrollo del Proyecto o Estudio "Estimación de biomasa de las especies *Alnus acuminata* y *Myrcianthes oreophila*", fuera de Áreas Naturales Protegidas y sus Zonas de Amortiguamiento, sin acceso a recursos genéticos, por el período de cuatro (04) meses, contado a partir del día siguiente de la notificación de la presente Resolución de Dirección General:



Cuadro N° 01: Especialistas que participarán del Estudio

NOMBRES Y APELLIDOS	PARTICIPACIÓN EN EL PROYECTO	DNI/CE N°
Víctor Manuel Barrera Arroyo	Investigador Principal	10375133
Maria Pía Sembreno Huaranga	Tesista	46245245
Erika Lorena Pinto Maldonado	Tesista	45998449

Se autoriza la colecta de muestras biológicas según detalle del Cuadro N° 02.

Cuadro N° 02: Relación de especies biológicas a extraer (Número y tipo de muestras por especie)

ESPECIE	NÚMERO DE MUESTRAS	TIPO DE MUESTRAS
<i>Myrcianthes oreophila</i>	30 individuos	03 rodajas del fuste por individuo (parte alta, media y baja).
<i>Alnus acuminata</i>		01 rodaja de la rama por individuo
		01 bolsa pequeña de hojas (200 g.) por individuo.

Artículo 2°.- El titular de la autorización y los investigadores señalados en el artículo precedente, se comprometen a:

- No extraer especímenes, ni muestras biológicas de flora silvestre no autorizada; no ceder los mismos a terceras personas, ni utilizarlos para fines distintos a lo autorizado.
- No contactar ni ingresar a los territorios comunales sin contar con la autorización de las autoridades comunales correspondientes.
- Retirar todo el material empleado para la ejecución del presente estudio una vez terminado el trabajo de campo y levantamiento de información biológica.
- Depositar el material botánico colectado en una institución científica nacional depositaria de material biológico, así como, entregar al SERFOR la constancia de dicho depósito. En casos debidamente justificados, y siempre que el material colectado no constituya holotipos ni ejemplares únicos, el depósito se podrá realizar en una institución distinta a la mencionada; para ello se requiere la autorización del SERFOR.
- Sólo en el caso que por razones científicas acotadas se requiera enviar al extranjero parte del material colectado, el interesado deberá gestionar el correspondiente Permiso de Exportación ante la Dirección General de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal y de Fauna Silvestre del SERFOR, así como pasar el control respectivo. Los ejemplares únicos de los grupos taxonómicos colectados y holotipos, sólo podrán ser exportados en calidad de préstamo.
- Comunicar a la Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre Apurímac, la entrada y salida del personal científico en campo, así como, informar brevemente sobre el tipo de muestras colectadas por especie.
- Entregar a la Dirección General de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal y de Fauna Silvestre del SERFOR, una (01) copia del Informe Final (incluyendo versión digital) como resultado de la autorización otorgada, copias del material fotográfico y/o slides que puedan ser utilizadas para difusión.
- Entregar una (01) copia de las publicaciones producto de la investigación realizada en formato impreso y digital, que incluya la lista taxonómica de las especies de flora silvestre objeto de la presente autorización de colecta con las respectivas coordenadas (en formato excel).

Anexo 3: Datos de los parámetros evaluados en campo

Código	Altura total (m)	Altura de fuste (m)	DAP (cm)	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)
				ESTE	NORTE	
U001	4,1	3	13,5	637000	8518976	3642
U002	4,35	1,65	10,2	637014	8518983	3633
U003	3,4	1,9	13,5	637034	8519032	3599
U004	4,24	3,04	13,4	637069	8519058	3580
U005	4,33	1,93	12,8	637113	8519081	3574
U006	4,835	1,935	18,5	637071	8519172	3521
U007	6,2	2,7	24,8	637062	8519200	3505
U008	5,24	3,74	17,5	636948	8519157	3567
U009	4,35	2,45	17,1	636894	8519103	3611
U010	6,22	3,02	19	636865	8519066	3638
U011	5,57	3,27	11,9	637171	8519408	3402
U012	6,06	3,36	18,7	637193	8519417	3395
U013	4,71	3,11	12,4	637212	8519503	3361
U014	5,22	2,92	23,4	637244	8519457	3364
U015	6,7	3,5	18,5	637280	8519457	3376
U016	6,58	2,28	15,5	637281	8519446	3380
U017	6,48	2,78	14,2	637298	8519427	3393
U018	5,66	2,66	13,8	637316	8519485	3378
U019	5,74	2,24	11,1	637268	8519361	3415
U020	6,22	3,92	34,1	637278	8519340	3428
U021	4,51	2,61	17,5	636933	8519582	3479
U022	6,09	2,29	15,6	636912	8519566	3493
U023	4,79	3,19	13,5	636914	8519615	3477
U024	5,17	2,87	12,6	636825	8519615	3507
U025	4,14	1,54	14	636848	8519621	3499
U026	6,34	2,84	17	637095	8519800	3302
U027	5,42	2,72	18	637113	8519792	3294
U028	5,44	2,34	19,3	637087	8519925	3260
U029	7,9	3,7	28,8	637112	8519985	3225
U030	5,58	1,98	19	636703	8519011	3720
U031	8,67	5,57	22,2	636657	8518967	3760
U032	8,2	4,5	32,1	636644	8518942	3769
U033	7,94	3,04	26	636601	8518949	3790

Anexo 4: Constancia de depósito e identificación de especie en herbario autorizado

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES LABORATORIO DE DENDROLOGÍA Y HERBARIO	
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"		
CONSTANCIA 032-2018-HF-UNALM		
EL DIRECTOR DEL HERBARIO FORESTAL DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES-UNALM		
Da Constancia:		
Que esta institución ha recibido de la Señorita María Pía Sembrero Huaranga , 01 muestra botánica (según lista adjunta) en calidad de depósito.		
La Señorita María Pía Sembrero Huaranga , identificada con DNI: 46245245 informa que el espécimen proviene del Departamento de Apurímac, Provincia de Chincheros, producto del estudio " Estimación de biomasa de las especies de <i>Alnus acuminata</i> y <i>Myrcianthes oreophila</i> ", y que corresponde a la autorización:		
<ul style="list-style-type: none">• RESOLUCION DE DIRECCION GENERAL N°-225-2016-SERFOR/DGGSPFFS.		
Se expide el presente documento a solicitud de los interesados para los fines que hubiere lugar.		
Lima, 09 de Octubre del 2018		
Carlos Reynel Rodríguez Ph. D. Profesor Principal, Dpto. Manejo Forestal Director del Laboratorio de Dendrología y Herbario Forestal-UNALM (MOL).		
<small>↑ Av. La Molina s/n La Molina, Lima, Perú Telf.: (511) 614 7145 / (511) 614 7800 anexo 244 cel.: 51 943 750564 herbariofcf@lamolina.edu.pe www.lamolina.edu.pe/facultad/forestales</small>		



CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN BOTÁNICA

A solicitud de la Señorita **Maria Pia Sembrero Huaranga**, se proporciona la identidad del espécimen indicado.

La información proporcionada por el solicitante sobre la muestra es:

Proyecto: "Estimación de biomasa de las especies de *Alnus acuminata* y *Myrcianthes oreophila*".

Zona de Colección: Distrito: Los Chankas

Provincia: Chincheros

Departamento: Apurímac

Colector: Maria Pia Sembrero

Lista de especímenes determinados:

Nº	COL	NOMBRE CIENTIFICO	FAMILIA
1	01-M.P.S.	<i>Myrcianthes oreophila</i> (Diels) McVaugh	MYRTACEA

Determinado por: **Carlos Reynel Rodríguez Ph. D.**
 Profesor Principal, Dpto. Manejo Forestal
 Director del Laboratorio de Dendrología
 y Herbario (MOL).

La Molina, 09 de Octubre del 2018

CONSTANCIA

N° 032-2018-HF-UNALM

N°	Familia	N° de Colecta	Especie	Departamento	Provincia	Distrito	Localidad	Muestra depositada	Autorización
1	MYRTACEAE	01-M.P.S.	<i>Myrcianthes oreophila</i> (Diels) McVaugh	Apurimac	Chincheros	Los Chankas	Yanavilca	1	RD-N°225-2016-SERFOR/DGSPFES

Anexo 5: Datos del volumen de las probetas saturadas en laboratorio

Prob.	Volumen saturado (cm³)							
U1 – A	244,7	U4 - B	523,8	U7 - A	371,9	U9 - M	269,2	
U1 – M	619,7		600,2		337,4		186,5	
U1 – B	164,2	U4 - R	269,4	U7 - M	746,6		270	
	131,9	U5 - A	1043,4		489,2		242,3	
	111,3	U5 - M	573,8		547,2		265,3	
	108,6	453,7	723,5		147,8			
	118,5	U5- B	1047,2		583,7		239,4	
	141,9	U5 - R	608		400,1		320,4	
U1 – R	117,2	U6 - A	188	U7- B	681,4		U9- B	470,8
U2 – A	350,3		249		420,2			344,7
U2 – M	441,8		340,9		364,2	370,5		
U2 – B	626,9		224,5		555,2	388,8		
U2 – R	166,7		189,5		535,6	331,1		
U3 – A	500,3		169,7		304,2	302,2		
	486,9		257,5		362,8	295,4		
U3 – M	206,3	U6 - M	254,3	U7 - R	362,8	U10 - A	302,2	
	206,7		216,4	U8 - A	393,8		460,3	
	186,3		278,3	508,2	345			
	174,7		347	195,6	297,1			
	146,5		166,2	183,8	341,1			
	205,6		319,4	360,4	305,3			
	U3 – B		168	U6- B	256,8		288,5	389,8
			216,6		372,9		168,7	358
237,7		314,9	176,6		375,8			
119,6		246	124,8		306,8			
203,1		280,1	267,2		377,1			
258,6		753,4	253,9		292,1			
U3 – R	365,2	U6 - R	753,4	U8- B	149,7	321,6		
U4 –A	698,7	U7 - A	388,3	251,5	U10 - B	256,5		
U4 – M	370		505	246,7		353,7		
	421,9		398,7	301,2		252		
			620,1	801,7		255,3		
				425,2				

Continuación

Prob.	Volumen saturado (cm ³)						
U10 - R	576,6	U14 - A	252,4	U15 - B	351,3	U17 - M	181,5
U11 - A	757,3		196,8		297,4		168,1
U11 - M	1020,2		210,6		252,7		185,6
	181,3		196,2		291,6		181,5
	153,8	U14 - M	298,4	U15 - R	635,2		173,9
U11 - B	180,4		292,3	U16 - A	217,3	U17 - B	160,6
	231,2		412,7		211,7		166,9
	188,2		279,1		210		177,7
	225		350,3		149,8		179,8
U11 - R	303,8		366,6	174,1		172,4	
U12 - A	1089,5	U14 - B	396,6		144,2	U17 - R	456,7
U12 - M	168,8		459,6	U16 - M	209,3	U18 - A	865,9
	261,5		212,4		224,7		469,8
	192,8		286,7		202,7		513,3
	209,1		394,5		221		159,3
	187,8		253,7		188,3		257,5
	190,9		395,7		189,4		261,5
	269,2		U15 - A	307,8	U16 - B	175,1	U18 - B
	232,2	439,5		286		187,6	
U12 - B	243	339,8		271,8		267,3	
	248,9	227,3		321,6		U18 - R	538,6
	305,6	211,5		283,7		U19 - A	598,6
	365,9	213,3		190,6		U19 - M	531,6
U12 - R	260,7	U15 - M	244,2	U16 - R	419,7	U19 - B	718,4
U13 - A	356,2		230,4		409,2	U19 - R	353,9
U13 - M	746		292	U17 - A	206,7	U20 - A	622,4
U13 - B	390,1		283,5		240,7		550,5
	543,4		295,7		206,3		386,8
U13 - R	166,1		238				211,4
U14 - A	138,1		U15 - B	322,1	U17 - M	150,2	582,6
	98,3			349,7			475

Continuación

Prob.	Volumen saturado (cm ³)						
U20 – M	834,4	U21 – M	265,8	U22 - B	288	U25 - R	357,7
	565,3		170,1		261,8	U26 - A	852
	485,6		91,7	U23 - A	484,7	U26- M	692,5
	353,9	156,1	321,6		392,2		
	529,8	256,9	U23 - M	279,7	440,6		
	534,1	231,2	U21 - B	258,3	U23 - B	251,6	466
	454,7	257,5		218,3		375,6	
879,4	666,1	U23 - R		310,5	U26 - B	327,7	
646,5	306,9	U21 - R		304,6	309,1		
310,9	216,6			U24 - A	339,8	373,6	
686,3	260,3	U22 - A		260,3	373,6		
U20- B	596,4	U22 - M		306,2	U24 - M	459	U26 - R
	470,7		203,4	U24 - B	439,1	U27 - A	458,1
	790,4		192	418,9	502,8		
	420,9		200,7	U24 - R	357	U27 - M	159,6
	859,2		133,7	185,6	251,8		
	285,9		224,7	393,1	240,9		
	860,7		206,8	283,3	300,8		
U20-R	489,3	U22 - B	265,8	U25 - A	745,1	159,4	
	352,4		170,1	416,6	233,3		
	316		91,7	385,2	160		
	237,5		156,1	U25 - M	328,5	271,9	
	289,5		256,9		131,9	348,4	
	300,3		231,2	U22 - R	231,2	U27- B	351,3
U21 – A	278,8	257,5	111,2	118	333,4		
U21 – M	173,3	U22B	666,1	U25 - B	140,8	188,9	
	174,9		306,9		206,7	U27 - R	577,1
	76,9		216,6		255,4	U28 - A	686,2
				490,2			

Continuación

Prob.	Volumen saturado (cm ³)	Prob.	Volumen saturado (cm ³)	Prob.	Volumen saturado (cm ³)	Prob.	Volumen saturado (cm ³)
U28 - M	131	U29 - R	363	U 31- B	391,8	U32 - R	214,5
	254,6		258		519,2		288,4
	155,8		274,2		404,8		234,8
	193,3		279,1		497,4		202,4
	169		291,2		364,3		226,1
	117,8		174,6		290,7		282,9
U28- B	279,1	U30 - A	84,5	U31 - R	261,2	U33 - A	478,5
	276,6		378,8		318,5		529,2
	300,4		356,4		401,9		552,4
	223,2		285,6		347,2		540,3
	254,6		329,3		360,4		597,9
	191,5		369,6		344,9		466,7
U28 - R	450,5		259,5		359,5		620,2
U29 - A	585,7	U30 - M	331,7	U32 - M	422,6	U33 - M	318,8
	579,3		297,6		658,1		205,7
	406,4		186,6		717,4		576,7
	720,4		232,2		645,4		662,4
	584,3		248		955,1		725,1
	578,2		395,4		783,8		602,7
U29 - M	565,2	U30- B	322,6	U32 - B	540,6	U33 - B	719,3
	519,3		381,3		658,5		478,9
	516,7		355		429,7		713,3
	667,1		424,6		383,8		765,2
	635,4		328,8		510,6		634,8
	663,9		249,2		522,2		255,7
U29- B	876,3	U30 - R	427,6	U32 - B	244,6	U33 - R	202,1
	356,9				765,4		185
	315	U31 - A	615,5		214,2		189,8
	317,7		628,7		289,7		282,5
	827	U31 - M	408,3		514,8		229,1
	744,2		451,3		561,2		
	852,5		507,9		409		
	675,4		455,5				

Anexo 6: Datos de los pesos secos de las probetas en laboratorio

Prob.	Peso seco (g)									
U1 - A	163,9	U4 - B	361,5	U7 - A	241,9		193,8			
U1 - M	443,6		411,5		225,5		127,4			
U1 - B	113,7	U4 - R	169	U7 - M	484,9	U9 - M	192,8			
	90,8	U5 - A	683,5		335,3		167,9			
	76,4	U5 - M	372,2		399,8		186,8			
	72,7	U5 - B	308		523,6		100,6			
	79,9	U5 - R	702,9		379		172,9			
	99,2		394,8		262,9		235,6			
U1 - R	84,8	U6 - A	124,5	U7 - B	448,6	U9 - B	398,6			
U2 - A	233,9		162,7		268,9		249,5			
U2 - M	294,2		222,4		235,1		274,5			
U2 - B	433,5		147		374,6		285,3			
U2 - R	112,3		121,4		340,3		215,2			
U3 - A	330,6		108,5		190,3		195,5			
U3 - M	332,8	U6 - M	164,6	U7 - R	234,7	U10 - A	188,5			
	142		178	U8 - A	263,1		305,4			
	142,9		143,6	337,9	237					
	130,5		178,4	138,7	187,3					
	120,7		235,2	130,3	229					
	100,7		111,9	261,1	198,4					
U3 - B	140,7	U6 - B	220,1	U8 - M	206,1	U10 - M	260,8			
	113,6		172,8	118,5	219,4					
	138,8		255,5	123,2	248,6					
	166,3		207,9	85,2	198,3					
	74,7		170,4	193	226,1					
	138,1		185,4	182,3	183,4					
U3 - R	173,9	U6 - R	510,2	U8 - B	103,1		215,6			
U4 - A	233,1	U7 - A	260	U8 - R	176,1	U10 - B	165,3			
U4 - M	481,8		325,8		174,5		230,3			
	255		253,1		196,9		158,2			
	279,5				393,3		U9 - A	531,2		162,5
										214,3

Continuación

Prob.	Peso seco (g)						
U10 - R	354,1	U14 - A	165,3	U15 - B	210	U17 - M	105,4
U11 - A	489,2		129,9		184,7		97,3
U11 - M	692		139,7		153,3		106,7
	135		131,4		171,9		104,6
	107,2	U14 - M	215,9	U15 - R	361,1		101,1
U11 - B	124,3		196,6	U16 - A	136,3	U17 - B	92,9
	157,2		299,2		136,5		97,3
	132,7		193,4		134,8		103,9
	137,8		249,1		96		105,6
U11 - R	191,1		250,4	114,9		99,6	
U12 - A	705,3		90,2		U17 - R	264,4	
U12 - M	110,6	U14 - B	270,2	U16 - M	143,6	U18 - A	564,7
	182,6		310,5		149,3		305
	126,2		139,7		133,3	334,3	
	135,8		197,3		143,2	106,6	
	120,7	264,2	120,3		174,8		
	131,3	174,7	118,5		U18 - B	178,5	
	177,7	U14 - R	253,6			114,9	113
158,1		189,4	194,6	122,9			
U12 - B	161,2	U15 - A	256,7	U16 - B	187,6		184,2
	174,1		194,5		209,5	U18 - R	341,8
	215,5		128,4		187,4	U19 - A	395,8
	248,1		125,9		127,4	U19 - M	344,2
	181,6		123,3		256,2	U19 - B	484,8
U12 - R	181,6		172,7	U16 - R	256,9	U19 - R	224,7
U13 - A	231,5	U15 - M	132,8	U17 - A	116,8	U20 - A	445,6
U13 - M	502,6		182,3		140,3		372,7
U13 - B	241,4		163,1		113,4		255,8
	332,7		183,7	98,6	462,4		
U13 - R	111,8		138,1	U17 - M			433,2
U14 - A	89,8		U15 - B		200,6		116,5
	63,7		221,4				

Continuación

Prob.	Peso seco (g)							
U20 - M	614,8	U21 - M	94,5	U22 - B	144,3	U25 - R	242,4	
	411,9		179,3		206,2	U26 - A	570,1	
	356,1		146,8	U23 - A	178,2	U26 - M	435,2	
	260,2	178,6	218		274,4			
	392,4	118,9	U23 - M	317,5	322,8			
	369	62,8		296,4	235,7			
	U20 - B	340,8	U21 - B	108,6	U23 - B	282,2	U26 - B	339,6
		650,4		172,3		240,3		274,3
		463,3		162,4	U23 - R	114,6		241
		219,3	U21 - R	164,2		U24 - A		222,4
505,2		U22 - A	427,1	195,8	261			
435,6		U22 - M	207,7	U24 - M		U26 - R	174,6	
346,3			149,7	U24 - B	292,5	U27 - A	317	
561,4			161		256,5		333,4	
300			198,6	U24 - R	212,9		U27 - M	116,9
629			133,5		87,7			176,3
197,8	129,1		U25 - A	71,5	172,7			
622	144,8	77,8		218,7				
U20 - R	242,7	92,6		92,5	111,4			
	210,4	U22 - B	161,3	162,3				
	159,6		147,4	180,3	113,2			
	201,5	211,2	U25 - M	329,5	192,2			
	201,8	191,2		364,7	245,6			
	182,4	U22 - R	321,4	86,5	U27 - B	256,9		
U21 - A	316,7		157,4		238,6			
U21 - M	133,7	U22B	196,1	U25 - B	113,2		131,9	
	126,7		163,4		152,7	U27 - R	396,5	
	54		157,1		107,1			
					120,5	U28 - A	467,7	

Continuación

Prob.	Peso seco (g)						
U28 - M	95,5	U29 - R	210	U31- B	257,9	U32 - R	139,2
	195		156,7		351,5		186,1
	110		164,2		245,3		152,5
	135,1		165		311,1		134,7
	118,2		158,8		233,6		145,2
	78,5		89,2		182,7		180
U28- B	199,7	U30 - A	36,5	U31 - R	185,9	U33 - A	299,8
	191		268,1		154,4		318,4
	210,5		245,2	U32 - A	269,3		350,3
	155,4		202,5		224		326,8
	181,8		230		236,1		371,7
	135,2		241,8		220,4		283,2
U28 - R	311,1	178,1	229,7	417,6			
U29 - A	337,7	U30 - M	223,1	U32 - M	272,9	U33 - M	208,2
	341,4		212,4		435,9		143,6
	226,1		128		492,3		393,7
	426,3		166,6		437,4		434,7
	341,3		165,5		628,3		487,8
	338,2		259,4		501		386,1
U29 - M	319,3	U30- B	240,9	U32 - B	361,5	U33 - B	459
	292,2		269,7		466,2		296,7
	292,3		257,8		316,3		480,9
	389,8		288,7		271,5	484,9	
	379,2		221,4		364	397,4	
	385,4		184,5		377,9	154,3	
U29- B	549,9	U30 - R	316	U32 - B	170,7	U33 - R	120,6
	215,4				535,8		107,3
	213,3	U31 - A	401,5		149		112,9
	188,6		395,2		199,7		176,1
	500,3	U31 - M	262,3		355,8		140,1
	458,4		287,8		388,9		
518,8	308		283,4				
404,8	288,7						

Anexo 7: Biomasa seca del fuste y ramas

Código	Largo 1/3 (cm)	Peso (kg)	Largo 2/3 (cm)	Peso (kg)	Largo 3/3 (cm)	Peso (kg)	Peso ramas (kg)	Peso hojas (kg)	Peso total fuste (kg)
U001	85	17,5	85	12	108	10,2	35,6	43,9	39,7
U002	50	9,0	50	6,4	57	5,82	24,4	27,5	21,22
U003	40	13,6	40	10	40	8,8	53,8	35,2	32,4
U004	90	19,7	90	12,4	90	11,22	26,8	30,9	43,32
U005	40	7,5	40	6,4	50	8	44,2	38,6	21,9
U006	62	15,1	62	17,2	62	16,7	62,5	52,1	49
U007	90	44,1	90	31,8	90	25,1	88,6	58,2	101
U008	122	31,3	122	24	110	15,3	61,5	36,8	70,6
U009	85	33,5	85	19,3	90	14	75	59,3	66,8
U010	96	29	96	22,5	103	31,5	90,1	62,1	83
U011	100	16,3	100	13,4	100	11,2	41,7	44,5	40,9
U012	105	26,8	105	23,9	130	18,9	54,3	48,2	69,6
U013	105	24,1	105	19	110	15,1	22,9	28,2	58,2
U014	85	31,5	85	26,6	90	18,4	65,7	79,8	76,5
U015	110	37,9	110	25,8	120	28,6	96,8	66,9	92,3
U016	70	24	70	18,3	75	13,4	77,6	52,8	55,7
U017	85	20,2	85	15,3	90	14	74,9	46,7	49,5
U018	80	15,7	80	12,7	100	13,4	43	40,1	41,8
U019	76	14,9	76	10,2	76	10	39,6	37,4	35,1
U020	70	83,7	70	72,6	70	42,3	136,6	104,6	198,6
U021	90	21,9	90	18,9	90	11,3	43	36,7	52,1
U022	76	20,6	76	16,3	90	9,2	116,8	42,8	46,1
U023	110	16,9	110	14,4	110	11,2	34,1	20,7	42,5
U024	100	15	100	14,1	110	14,4	35,2	23,6	43,5
U025	45	9,4	45	7,5	48	8,4	41,3	26	25,3
U026	95	26	95	23,8	80	17,6	55,1	44,2	67,4
U027	90	24,1	90	22,7	85	18,8	55,2	42,1	65,6
U028	90	29,7	90	15,8	90	11,8	78,8	56,6	57,3
U029	110	75,6	110	60,5	110	54,7	122,5	86,3	190,8
U030	50	16,5	50	15,4	60	19,3	83	67,9	51,2
U031	180	66,4	180	44,9	180	36,2	102,3	69,1	147,5
U032	115	99,6	115	83,3	120	61,3	113,2	82,2	244,2
U033	80	41,1	80	43,3	100	45	241,1	99,5	129,4

Anexo 8: Volumen obtenido de cada sección a través de la formula Smalian

Código	Volumen del fuste			Volumen Tocón (m ³)	Volumen fuste total (m ³)	Volumen Ramas (m ³)
	Parte baja (m ³)	Parte media (m ³)	Parte alta (m ³)			
U001	0,021801	0,016931	0,015222	0,003677	0,057632	0,029157
U002	0,006536	0,006290	0,006717	0,002206	0,021749	0,020532
U003	0,014797	0,011437	0,008462	0,010521	0,045217	0,046725
U004	0,023548	0,020180	0,015858	0,004298	0,063883	0,023641
U005	0,009240	0,008633	0,009218	0,009977	0,037069	0,040430
U006	0,026849	0,023417	0,021382	0,004032	0,075679	0,052931
U007	0,064553	0,057896	0,056091	0,029689	0,208228	0,075991
U008	0,043310	0,027260	0,018684	0,003563	0,092817	0,053944
U009	0,041103	0,027367	0,018984	0,008908	0,096361	0,064498
U010	0,045061	0,035167	0,036896	0,014547	0,131672	0,090061
U011	0,021492	0,016778	0,015862	0,002692	0,056824	0,037964
U012	0,042543	0,034572	0,027421	0,007372	0,111908	0,044812
U013	0,022999	0,019865	0,010992	0,003141	0,056996	0,019759
U014	0,055958	0,045704	0,027502	0,014476	0,143640	0,057062
U015	0,053302	0,042247	0,037408	0,013592	0,146548	0,082015
U016	0,028850	0,020686	0,021720	0,008362	0,079618	0,070850
U017	0,026154	0,021254	0,023017	0,003990	0,074414	0,060113
U018	0,025706	0,019404	0,020638	0,003632	0,069379	0,037488
U019	0,021904	0,014979	0,009751	0,005070	0,051704	0,034240
U020	0,101627	0,092964	0,082098	0,061368	0,338057	0,128621
U021	0,031979	0,028282	0,018501	0,004994	0,083755	0,038207
U022	0,029361	0,022140	0,016773	0,007795	0,076070	0,100932
U023	0,024253	0,021018	0,015399	0,002967	0,063637	0,030081
U024	0,022821	0,018725	0,019967	0,002769	0,064282	0,031741
U025	0,013923	0,009763	0,011299	0,002994	0,037978	0,035572
U026	0,033887	0,027828	0,019817	0,005773	0,087304	0,049362
U027	0,036969	0,034614	0,029922	0,009073	0,110578	0,047348
U028	0,041628	0,026086	0,014766	0,004849	0,087329	0,066478
U029	0,099108	0,084095	0,078055	0,019004	0,280263	0,108165
U030	0,021046	0,019015	0,023163	0,010888	0,074112	0,074655
U031	0,097087	0,068859	0,054393	0,018688	0,239027	0,090326
U032	0,139734	0,118672	0,102859	0,084496	0,445762	0,100214
U033	0,065381	0,058183	0,061358	0,030235	0,215156	0,222424

Anexo 9: Valor estadístico de F y el p-valor de las ecuaciones para la estimación de biomasa

		PRUEBA F	
Modelos		F	p-valor
1	$B = b_0 + b_1 DAP$	169,342376	1,2337E-13
2	$B = b_0 + b_1 DAP^{1.5}$	181,355949	5,2351E-14
3	$B = b_0 + b_1 DAP^2$	177,605724	6,8044E-14
4	$B = b_0 + b_1 DAP^{2.5}$	161,700331	2,1878E-13
5	$B = b_0 + b_1 DAP^3$	140,913682	1,1783E-12
6	$B = b_0 + b_1 Ln(DAP)$	118,8014	9,0261E-12
7	$B = b_0 + b_1 Lg(DAP)$	118,8014	9,0261E-12
8	$B = b_0 DAP + b_1 DAP^2$	87,8878551	8,5522E-13
9	$B = b_0 + b_1 Ht$	59,14392	1,764E-08
10	$B = b_0 + b_1 Ht^2$	70,5492653	2,9471E-09
11	$B = b_0 + b_1 Ht^3$	74,1772358	1,7423E-09
12	$B = b_0 + b_1 Ln(Ht)$	44,8043289	2,4227E-07
13	$B = b_0 + b_1 Lg(Ht)$	44,8043289	2,4227E-07
14	$B = b_0 + b_1 Hf$	17,9587991	0,00020904
15	$B = b_0 + b_1 Hf^2$	18,7463599	0,00016239
16	$B = b_0 + b_1 Ln(Hf)$	14,7314362	0,00061972
17	$B = b_0 + b_1 Dc$	112,143616	1,7704E-11
18	$B = b_0 + b_1 Dc^2$	137,814712	1,5415E-12
19	$B = b_0 + b_1 Dc^3$	125,385599	4,7749E-12
20	$B = b_0 + b_1 Ln(Dc)$	72,4687852	2,2263E-09
21	$B = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP$	174,951422	1,5028E-16
22	$B = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP^{1.5}$	186,558431	6,5226E-17
23	$B = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP^2$	183,118149	8,3104E-17
24	$B = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP^3$	149,154763	1,1733E-15
25	$B = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP$	198,351727	2,931E-17
26	$B = b_0 + b_1 Ht^3 + b_2 DAP$	205,583638	1,834E-17
27	$B = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP^2$	196,031353	3,4183E-17
28	$B = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP^{1.5}$	205,459684	1,8485E-17
29	$B = b_0 + b_1 Ht^3 + b_2 DAP^3$	147,139743	1,3962E-15
30	$B = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP^3$	153,775092	7,9361E-16
31	$B = b_0 + b_1 DAPHt$	415,322738	9,8588E-19
32	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAPHt$	209,637449	1,4196E-17
33	$B = b_0 + b_1 DAP^{1.5} + b_2 DAPHt$	206,89197	1,6876E-17
34	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAPHt$	204,388313	1,9796E-17
35	$B = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAPHt$	205,935153	1,7934E-17
36	$B = b_0 + b_1 DAP^2 Ht$	269,000366	3,2837E-16
37	$B = b_0 + b_1 DAPHt^2$	261,156104	4,841E-16
38	$B = b_0 + b_1 DAP^2 Ht^2$	216,82987	5,4072E-15
39	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 Ht$	192,977937	4,1962E-17

Continuación

		PRUEBA F	
Modelos		F	p-valor
40	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^{1.5} Ht$	183,013982	8,3721E-17
41	$B = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP^2 Ht$	160,843003	4,4537E-16
42	$B = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAPHt^2$	205,935153	1,7934E-17
43	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAP^2 Ht$	129,865549	6,8296E-15
44	$B = b_0 + b_1 DAPHt + b_2 DAP^2 Ht$	200,841219	2,4897E-17
45	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAPHt$	204,388313	1,9796E-17
46	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 Ht$	109,028286	6,1055E-14
47	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2$	87,8878551	8,5522E-13
48	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht + b_3 DAP^2 Ht$	118,587714	1,1708E-15
49	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 + b_3 DAP^2 Ht$	137,602063	1,803E-16
50	$B = b_0 + b_1 DAP^3 + b_2 Ht + b_3 DAP^2 Ht$	103,838626	6,1197E-15
51	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^2 + b_3 DAP^2 Ht$	126,610919	5,1504E-16
52	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht + b_3 DAPHt^2$	123,816916	6,8171E-16
53	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 + b_3 DAPHt$	135,778913	2,134E-16
54	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht + b_3 DAPHt$	132,644199	2,8658E-16
55	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^2 + b_3 DAPHt$	132,104405	3,017E-16
56	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^3 + b_3 DAPHt$	137,466437	1,8256E-16
57	$B = b_0 + b_1 Ht^3 + b_2 DAPHt$	204,327645	1,9873E-17
58	$B = b_0 + b_1 DAP^3 + b_2 DAPHt$	201,668614	2,3593E-17
59	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht + b_3 DAPHt$	134,802343	2,3377E-16
60	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht + b_3 DAPHt^2$	138,469309	1,6653E-16
61	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht + b_3 DAP^2 Ht$	130,990448	3,3569E-16
62	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^2 + b_3 DAP^2 Ht^2$	126,105523	5,416E-16
63	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAPHt$	136,144388	2,0628E-16
64	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 + b_3 DAP^2 Ht$	135,597729	2,1703E-16
65	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^{1.5} + b_3 DAP^2 Ht$	147,283385	7,6187E-17
66	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAPHt^2$	139,69941	1,489E-16
67	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 + b_3 DAPHt^2$	138,194219	1,7077E-16
68	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAP^2 Ht$	144,32287	9,8576E-17
69	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 + b_3 DAPHt$	135,343807	2,2223E-16
70	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAPHt + b_3 DAP^2 Ht$	134,97214	2,3009E-16
71	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAPHt + b_3 DAP^2 Ht$	132,575326	2,8846E-16
72	$B = b_0 + b_1 DAP^3 + b_2 DAPHt + b_3 DAP^2 Ht$	130,832156	3,4084E-16
73	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAPHt^2 + b_3 DAP^2 Ht$	138,207816	1,7056E-16
74	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAPHt^2 + b_3 DAP^2 Ht$	130,94405	3,3719E-16
75	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 Ht$	121,179657	8,9308E-16
76	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 + b_3 Ht$	123,614664	6,9584E-16
77	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 Ht^2$	133,188818	2,7214E-16
78	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAP^3 + b_3 Ht$	118,807876	1,144E-15
79	$B = b_0 + b_1 Ln(Ht) + b_2 Ln(DAP)$	105,321454	9,3699E-14
80	$B = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Ht$	128,888869	7,513E-15

Continuación

	Modelos	PRUEBA F	
		F	p-valor
81	$B = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Ht^2$	152,542948	8,7988E-16
82	$B = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Ht^3$	165,451017	3,0942E-16
83	$B = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Lg_2(Ht)$	105,321454	9,3699E-14
84	$B = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAP^2$	111,750808	4,4941E-14
85	$B = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAP^{1.5}$	112,218061	4,2667E-14
86	$B = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAP^3$	101,002778	1,5699E-13
87	$B = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 DAP^{1.5}$	116,908288	2,5601E-14
88	$B = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 Ht^2$	136,872049	3,5097E-15
89	$B = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 Ht^3$	126,292963	9,7116E-15
90	$B = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAPHt$	259,173658	8,6228E-19
91	$B = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 DAPHt$	241,944497	2,1466E-18
92	$B = b_0 + b_1 Lg_2(Dc) + b_2 Lg_2(DAP)$	71,597054	9,8032E-12
93	$B = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Dc^2$	111,147268	4,8072E-14
94	$B = b_0 + b_1 Ln(Dc) + b_2 Ln(DAP)$	71,597054	9,8032E-12
95	$B = b_0 + b_1 Ln(Ht) + b_2 Ln(Dc) + b_3 Ln(DAP)$	92,0992143	2,684E-14
96	$B = b_1 DAP^2 + b_2 DAP^3 Ht + b_3 DAPHt^2 + b_4 Ht^2$	93,7959429	4,6813E-15
97	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAPHt + b_4 DAP^2 Ht$	104,403563	1,2747E-15
98	$B = b_0 + b_1 DAP^{1.5} + b_2 Dc^2 + b_3 DAPHt + b_4 Ht^3$	114,678549	4,0484E-16
99	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Dc + b_3 Ht$	157,014431	3,3764E-17
100	$B = b_0 + b_1 DAPHt + b_2 Dc$	259,131488	8,6415E-19
101	$B = b_0 + b_1 DAP^2 Ht + b_2 Dc$	162,388701	3,9373E-16
102	$B = b_0 + b_1 DAP^3 Ht + b_2 Dc$	111,354806	4,697E-14
103	$B = b_0 + b_1 DAPHt^2 + b_2 Dc$	198,425401	2,9168E-17
104	$B = b_0 + b_1 DAPHt^3 + b_2 Dc$	150,609844	1,0361E-15
105	$B = b_0 + b_1 DAP^2 Ht^2 + b_2 Dc$	148,375654	1,2546E-15
106	$B = b_0 + b_1 DAPHt + b_2 Dc^2$	241,914745	2,1501E-18
107	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht Dc$	224,715041	5,6948E-18
108	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht Dc$	246,50916	1,676E-18
109	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 Dc$	241,024575	2,2576E-18
110	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP Dc$	119,899445	1,8659E-14
111	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 Dc$	103,058036	1,2251E-13
112	$B = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP Dc$	245,20486	1,798E-18
113	$B = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP Dc$	243,365035	1,9865E-18
114	$B = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP^2 Dc$	172,499146	1,8043E-16
115	$B = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP Dc^2$	163,243903	3,6795E-16
116	$B = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP Dc^2$	157,42748	5,8704E-16
117	$B = b_0 + b_1 Ht + b_2 Ht Dc$	134,683942	4,3062E-15
118	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^3 + b_3 Dc^2$	145,120184	9,1923E-17
119	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^3$	192,871289	4,2266E-17
120	$B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht Dc^2$	151,038692	9,9906E-16
121	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 Dc$	241,024575	2,2576E-18
122	$B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Hf$	101,152978	1,5415E-13

Anexo 10: Valor estadístico de t de Student de las ecuaciones para la estimación de biomasa

	MODELOS	t- Student			
		b ₁	b ₂	b ₃	b ₄
1	$B = b_0 + b_1 \text{DAP}$	1,23E-13			
2	$B = b_0 + b_1 \text{DAP}^{1.5}$	5,2351E-14			
3	$B = b_0 + b_1 \text{DAP}^2$	6,8044E-14			
4	$B = b_0 + b_1 \text{DAP}^{2.5}$	2,1878E-13			
5	$B = b_0 + b_1 \text{DAP}^3$	1,1783E-12			
6	$B = b_0 + b_1 \text{Ln}(\text{DAP})$	9,0261E-12			
7	$B = b_0 + b_1 \text{Lg}(\text{DAP})$	9,0261E-12			
8	$B = b_0 \text{DAP} + b_1 \text{DAP}^2$	0,42849314	0,1749909		
9	$B = b_0 + b_1 \text{Ht}$	1,764E-08			
10	$B = b_0 + b_1 \text{Ht}^2$	2,9471E-09			
11	$B = b_0 + b_1 \text{Ht}^3$	1,7423E-09			
12	$B = b_0 + b_1 \text{Ln}(\text{Ht})$	2,4227E-07			
13	$B = b_0 + b_1 \text{Lg}(\text{Ht})$	2,4227E-07			
14	$B = b_0 + b_1 \text{Hf}$	0,00020904			
15	$B = b_0 + b_1 \text{Hf}^2$	0,00016239			
16	$B = b_0 + b_1 \text{Ln}(\text{Hf})$	0,00061972			
17	$B = b_0 + b_1 \text{Dc}$	1,7704E-11			
18	$B = b_0 + b_1 \text{Dc}^2$	1,5415E-12			
19	$B = b_0 + b_1 \text{Dc}^3$	4,7749E-12			
20	$B = b_0 + b_1 \text{Ln}(\text{Dc})$	2,2263E-09			
21	$B = b_0 + b_1 \text{Ht} + b_2 \text{DAP}$	1,417E-05	1,4514E-10		
22	$B = b_0 + b_1 \text{Ht} + b_2 \text{DAP}^{1.5}$	1,423E-05	6,2515E-11		
23	$B = b_0 + b_1 \text{Ht} + b_2 \text{DAP}^2$	1,4537E-05	7,9823E-11		
24	$B = b_0 + b_1 \text{Ht} + b_2 \text{DAP}^3$	1,4224E-05	1,1578E-09		
25	$B = b_0 + b_1 \text{Ht}^2 + b_2 \text{DAP}$	2,6363E-06	1,5561E-10		
26	$B = b_0 + b_1 \text{Ht}^3 + b_2 \text{DAP}$	1,6302E-06	1,6076E-10		
27	$B = b_0 + b_1 \text{Ht}^2 + b_2 \text{DAP}^2$	5,8207E-06	1,8175E-10		
28	$B = b_0 + b_1 \text{Ht}^2 + b_2 \text{DAP}^{1.5}$	3,8853E-06	9,7716E-11		
29	$B = b_0 + b_1 \text{Ht}^3 + b_2 \text{DAP}^3$	1,7023E-05	1,2885E-08		
30	$B = b_0 + b_1 \text{Ht}^2 + b_2 \text{DAP}^3$	9,5045E-06	4,3722E-09		
31	$B = b_0 + b_1 \text{DAPHt}$	9,8588E-19			
32	$B = b_0 + b_1 \text{DAP} + b_2 \text{DAPHt}$	0,28409747	1,2541E-06		
33	$B = b_0 + b_1 \text{DAP}^{1.5} + b_2 \text{DAPHt}$	0,36883114	3,5383E-06		
34	$B = b_0 + b_1 \text{DAP}^2 + b_2 \text{DAPHt}$	0,48212569	3,3204E-06		
35	$B = b_0 + b_1 \text{Ht} + b_2 \text{DAPHt}$	0,40678026	1,7004E-11		
36	$B = b_0 + b_1 \text{DAP}^2 \text{Ht}$	3,2837E-16			
37	$B = b_0 + b_1 \text{DAPHt}^2$	4,841E-16			
38	$B = b_0 + b_1 \text{DAP}^2 \text{Ht}^2$	5,4072E-15			
39	$B = b_0 + b_1 \text{DAP} + b_2 \text{DAP}^2 \text{Ht}$	2,2681E-06	1,322E-08		
40	$B = b_0 + b_1 \text{DAP} + b_2 \text{DAP}^{1.5} \text{Ht}$	0,30758753	2,6652E-08		

Continuación

MODELOS	t- Student			
	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄
41 $B = b_0 + b_1Ht + b_2DAP^2Ht$	0,02053472	4,3485E-10		
42 $B = b_0 + b_1Ht + b_2DAPHt^2$	0,40678026	1,7004E-11		
43 $B = b_0 + b_1DAP^2 + b_2DAP^2Ht$	1,9315E-05	5,7282E-07		
44 $B = b_0 + b_1DAPHt + b_2DAP^2Ht$	0,00089302	0,83452936		
45 $B = b_0 + b_1DAP^2 + b_2DAPHt$	0,48212569	3,3204E-06		
46 $B = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^3Ht$	0,00226187	0,00802478		
47 $B = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^2$	0,42849315	0,17499092		
48 $B = b_0 + b_1DAP^2 + b_2Ht + b_3DAP^2Ht$	0,06679408	0,0034888	0,6704099	
49 $B = b_0 + b_1DAP + b_2Ht^2 + b_3DAP^2Ht$	0,00682446	0,00130761	0,16917041	
50 $B = b_0 + b_1DAP^3 + b_2Ht + b_3DAP^2Ht$	0,7477293	0,37437237	0,16393898	
51 $B = b_0 + b_1DAP^2 + b_2Ht^2 + b_3DAP^2Ht$	0,02192788	0,00144255	0,73372816	
52 $B = b_0 + b_1DAP^2 + b_2Ht + b_3DAPHt^2$	0,00315867	0,24428425	0,26434812	
53 $B = b_0 + b_1DAP + b_2Ht^2 + b_3DAPHt$	0,39311482	0,66633742	0,21188043	
54 $B = b_0 + b_1DAP^2 + b_2Ht + b_3DAPHt$	0,82623778	0,6276457	0,08578431	
55 $B = b_0 + b_1DAP^2 + b_2Ht^2 + b_3DAPHt$	0,82679894	0,71425447	0,27975022	
56 $B = b_0 + b_1DAP + b_2Ht^3 + b_3DAPHt$	0,30551224	0,5204344	0,3433398	
57 $B = b_0 + b_1Ht^3 + b_2DAPHt$	0,48553351	1,7434E-10		
58 $B = b_0 + b_1DAP^3 + b_2DAPHt$	0,69914716	2,5912E-07		
59 $B = b_0 + b_1DAP + b_2Ht + b_3DAPHt$	0,50281256	0,93560621	0,03439987	
60 $B = b_0 + b_1DAP + b_2Ht + b_3DAPHt^2$	0,00069954	0,47243805	0,02334706	
61 $B = b_0 + b_1DAP + b_2Ht + b_3DAP^2Ht$	0,01584243	0,00254602	0,0524202	
62 $B = b_0 + b_1DAP^2 + b_2Ht^2 + b_3DAP^2Ht^2$	0,00600008	0,17867576	0,89701608	
63 $B = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^2 + b_3DAPHt$	0,34756981	0,61515144	4,3237E-06	
64 $B = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^3 + b_3DAP^2Ht$	0,00664923	0,00159419	5,2962E-06	
65 $B = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^{1,5} + b_3DAP^2Ht$	0,00026902	0,00052381	1,4449E-06	
66 $B = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^2 + b_3DAPHt^2$	0,03699682	0,39079922	3,0919E-06	
67 $B = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^3 + b_3DAPHt^2$	0,00442995	0,49447368	4,1378E-06	
68 $B = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^2 + b_3DAP^2Ht$	0,00025046	0,00068802	2,0238E-06	
69 $B = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^3 + b_3DAPHt$	0,30142436	0,74458234	5,4269E-06	
70 $B = b_0 + b_1DAP + b_2DAPHt + b_3DAP^2Ht$	0,29395234	0,00169703	0,84583513	
71 $B = b_0 + b_1DAP^2 + b_2DAPHt + b_3DAP^2Ht$	0,41782451	0,00077806	0,63723557	
72 $B = b_0 + b_1DAP^3 + b_2DAPHt + b_3DAP^2Ht$	0,56681706	0,01093171	0,63438941	
73 $B = b_0 + b_1DAP + b_2DAPHt^2 + b_3DAP^2Ht$	0,00482804	0,00123236	0,49334383	
74 $B = b_0 + b_1DAP^2 + b_2DAPHt^2 + b_3DAP^2Ht$	0,01019565	0,00091838	0,09777505	
75 $B = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^2 + b_3Ht$	0,39805368	0,17543575	1,9629E-05	
76 $B = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^3 + b_3Ht$	0,01263296	0,12713186	1,7636E-05	
77 $B = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^2 + b_3Ht^2$	0,24159752	0,29869887	5,7518E-06	
78 $B = b_0 + b_1DAP^2 + b_2DAP^3 + b_3Ht$	0,02206576	0,63389142	2,1552E-05	
79 $B = b_0 + b_1Ln(Ht) + b_2Ln(DAP)$	0,00015915	7,8856E-09		
80 $B = b_0 + b_1Lg_2(DAP) + b_2Ht$	7,59E-09	1,1604E-05		
81 $B = b_0 + b_1Lg_2(DAP) + b_2Ht^2$	4,854E-09	1,2817E-06		

Continuación

MODELOS	t- Student			
	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄
82 $B = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Ht^3$	2,7979E-09	4,4031E-07		
83 $B = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Lg_2(Ht)$	7,8856E-09	0,00015915		
84 $B = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAP^2$	0,01130385	4,0043E-05		
85 $B = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAP^{1.5}$	0,01364488	3,7945E-05		
86 $B = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAP^3$	0,00241412	0,0001472		
87 $B = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 DAP^{1.5}$	0,00776117	0,00025528		
88 $B = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 Ht^2$	1,9745E-08	3,22E-05		
89 $B = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 Ht^3$	9,246E-08	9,2682E-05		
90 $B = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAPHt$	0,00989949	6,1579E-10		
91 $B = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 DAPHt$	0,02748763	1,6579E-08		
92 $B = b_0 + b_1 Lg_2(Dc) + b_2 Lg_2(DAP)$	0,02372234	8,8649E-05		
93 $B = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Dc^2$	0,00049528	7,9338E-05		
94 $B = b_0 + b_1 Ln(Dc) + b_2 Ln(DAP)$	0,02372234	8,8649E-05		
95 $B = b_0 + b_1 Ln(Ht) + b_2 Ln(Dc) + b_3 Ln(DAP)$	5,8899E-05	0,00681348	0,00062059	
96 $B = b_1 DAP^2 + b_2 DAP^3 Ht + b_3 DAPHt^2 + b_4 Ht^2$	0,0053435	0,4023808	0,45954675	0,73563513
97 $B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAPHt + b_4 DAP^2 Ht$	0,14996702	0,19973501	0,84302736	0,23055318
98 $B = b_0 + b_1 DAP^{1.5} + b_2 Dc^2 + b_3 DAPHt + b_4 Ht^3$	0,48023494	0,04616025	0,76015624	0,4974784
99 $B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Dc + b_3 Ht$	7,3086E-05	0,00397896	7,7102E-06	
100 $B = b_0 + b_1 DAPHt + b_2 Dc$	6,1713E-10	0,00989814		
101 $B = b_0 + b_1 DAP^2 Ht + b_2 Dc$	3,081E-07	0,01785541		
102 $B = b_0 + b_1 DAP^3 Ht + b_2 Dc$	4,192E-05	0,0017073		
103 $B = b_0 + b_1 DAPHt^2 + b_2 Dc$	2,18E-08	0,00071186		
104 $B = b_0 + b_1 DAPHt^3 + b_2 Dc$	8,2774E-07	0,00014152		
105 $B = b_0 + b_1 DAP^2 Ht^2 + b_2 Dc$	1,0067E-06	0,00331209		
106 $B = b_0 + b_1 DAPHt + b_2 Dc^2$	1,6607E-08	0,02746704		
107 $B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht Dc$	0,0002438	9,2619E-07		
108 $B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht Dc$	6,7985E-05	1,4156E-07		
109 $B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 Dc$	8,2374E-07	1,9176E-07		
110 $B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP Dc$	0,41667047	0,00221897		
111 $B = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 Dc$	0,02807706	0,01736816		
112 $B = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP Dc$	1,4166E-05	1,6803E-12		
113 $B = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP Dc$	1,5702E-05	1,0329E-11		
114 $B = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP^2 Dc$	2,6558E-05	1,7492E-10		
115 $B = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP Dc^2$	4,5549E-05	3,5926E-10		
116 $B = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP Dc^2$	7,4006E-05	3,2283E-09		
117 $B = b_0 + b_1 Ht + b_2 Ht Dc$	0,51327964	4,3265E-09		
118 $B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^3 + b_3 Dc^2$	0,00016334	3,4003E-05	0,04801332	
119 $B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^3$	3,742E-10	7,2414E-06		
120 $B = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht Dc^2$	0,00242198	0,00019248		
121 $B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 Dc$	8,2374E-07	1,9176E-07		
122 $B = b_0 + b_1 DAP + b_2 Hf$	2,1728E-11	0,02249341		

Anexo 11: Estadísticos del análisis de regresión de las ecuaciones que cumplieron con los supuestos para la estimación de biomasa

1. Modelo de ecuación 1: $B = b_0 + b_1 \text{DAP}$

ESTADÍSTICA DE LA REGRESIÓN					
Coefficiente de correlación múltiple		0,92400659			
Coefficiente de determinación R^2		0,85378818			
R^2 ajustado		0,84874639			
Error típico		18,6240092			
Observaciones		31			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	58737,0328	58737,0328	169,342376	1,2337E-13
Residuos	29	10058,7578	346,853719		
Total	30	68795,7906			
COEFICIENTES DE VARIABLES					
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	-50,396218	11,9807052	-4,20644838	0,00022779	
DAP	8,7663749	0,6736545	13,0131616	1,2337E-13	

2. Análisis de regresión de la ecuación 37: $B = b_0 + b_1 \text{DAP}Ht^2$

ESTADÍSTICA DE LA REGRESIÓN					
Coefficiente de correlación múltiple		0,94871165			
Coefficiente de determinación R^2		0,9000538			
R^2 ajustado		0,89660738			
Error típico		15,398027			
Observaciones		31			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	61919,9128	61919,9128	261,156104	4,841E-16
Residuos	29	6875,87785	237,099236		
Total	30	68795,7906			
COEFICIENTES DE VARIABLES					
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	41,2740237	4,53275925	9,10571716	5,288E-10	
DAP* Ht^2	0,09636642	0,00596315	16,160325	4,841E-16	

3. Análisis de regresión de la ecuación 85: $B = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAP^{1,5}$

ESTADÍSTICA DE LA REGRESIÓN					
Coefficiente de correlación múltiple		0,94291084			
Coefficiente de determinación R ²		0,88908085			
R ² ajustado		0,88115805			
Error típico		16,5084076			
Observaciones		31			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	61165,02	30582,51	112,218061	4,2667E-14
Residuos	28	7630,77058	272,527521		
Total	30	68795,7906			
COEFICIENTES DE VARIABLES					
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	-31,9216266	15,228438	-2,09618521	0,04522633	
DC	16,5971136	6,3052499	2,63226897	0,01364488	
DAP ^{1,5}	0,89649989	0,18350776	4,88535128	3,7945E-05	

4. Análisis de regresión de la ecuación 93: $B = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Dc^2$

ESTADÍSTICA DE LA REGRESIÓN					
Coefficiente de correlación múltiple		0,94240745			
Coefficiente de determinación R ²		0,8881318			
R ² ajustado		0,88014121			
Error típico		16,5788823			
Observaciones		31			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	61099,7291	30549,8646	111,147268	4,8072E-14
Residuos	28	7696,06149	274,859339		
Total	30	68795,7906			
COEFICIENTES DE VARIABLES					
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	-172,064589	48,5103595	-3,54696585	0,00139491	
Lg ₂ (DAP)	55,3252824	14,0469283	3,93860359	0,00049528	
DC ²	2,85344865	0,61825067	4,61535877	7,9338E-05	

5. Análisis de regresión de la ecuación 100: $B = b_0 + b_1 \text{DAPHt} + b_2 \text{Dc}$

ESTADÍSTICA DE LA REGRESIÓN					
Coefficiente de correlación múltiple		0,97403421			
Coefficiente de determinación R^2		0,94874264			
R^2 ajustado		0,9450814			
Error típico		11,2222529			
Observaciones		31			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	65269,4998	32634,7499	259,131488	8,6415E-19
Residuos	28	3526,29086	125,938959		
Total	30	68795,7906			
COEFICIENTES DE VARIABLES					
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	
Intercepción	-17,0413492	10,5565719	-1,61428817	0,11767955	
DAPxHT	0,72171752	0,07863469	9,17810653	6,1713E-10	
DC	11,2988243	4,08263305	2,76753364	0,00989814	

6. Análisis de regresión de la ecuación 112: $B = b_0 + b_1 \text{Ht} + b_2 \text{DAPDc}$

ESTADÍSTICA DE LA REGRESIÓN					
Coefficiente de correlación múltiple		0,97261949			
Coefficiente de determinación R^2		0,94598867			
R^2 ajustado		0,94213071			
Error típico		11,5197848			
Observaciones		31			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	65080,0383	32540,0191	245,20486	1,798E-18
Residuos	28	3715,75235	132,705441		
Total	30	68795,7906			
COEFICIENTES DE VARIABLES					
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	
Intercepción	-29,2391923	10,4985722	-2,78506369	0,00949021	
HT	12,3635187	2,35683408	5,24581634	1,4166E-05	
DAPxCOPA	0,82985998	0,06950904	11,938878	1,6803E-12	

Anexo 12: Valor estadístico de F y el p-valor de las ecuaciones para la estimación de volumen

Modelos	PRUEBA F	
	F	p-valor
1 $V = b_0 + b_1 \text{DAP}$	184,872451	4,1114E-14
2 $V = b_0 + b_1 \text{DAP}^{1.5}$	233,692919	2,058E-15
3 $V = b_0 + b_1 \text{DAP}^2$	270,443628	3,0608E-16
4 $V = b_0 + b_1 \text{DAP}^{2.5}$	279,206031	2,0118E-16
5 $V = b_0 + b_1 \text{DAP}^3$	260,082942	5,1092E-16
6 $V = b_0 + b_1 \text{Ln}(\text{DAP})$	104,18879	4,1351E-11
7 $V = b_0 + b_1 \text{Lg}(\text{DAP})$	104,18879	4,1351E-11
8 $V = b_0 \text{DAP} + b_1 \text{DAP}^2$	133,7763974	4,69161E-15
9 $V = b_0 + b_1 \text{Ht}$	53,4495718	4,7189E-08
10 $V = b_0 + b_1 \text{Ht}^2$	66,4986106	5,426E-09
11 $V = b_0 + b_1 \text{Ht}^3$	73,7055422	1,8636E-09
12 $V = b_0 + b_1 \text{Ln}(\text{Ht})$	39,4809278	7,3422E-07
13 $V = b_0 + b_1 \text{Lg}(\text{Ht})$	39,4809278	7,3422E-07
14 $V = b_0 + b_1 \text{Hf}$	21,7716074	6,4129E-05
15 $V = b_0 + b_1 \text{Hf}^2$	22,4486595	5,2521E-05
16 $V = b_0 + b_1 \text{Ln}(\text{Hf})$	17,7007884	0,0002273
17 $V = b_0 + b_1 \text{Dc}$	95,5912435	1,0979E-10
18 $V = b_0 + b_1 \text{Dc}^2$	135,435704	1,9011E-12
19 $V = b_0 + b_1 \text{Dc}^3$	142,893772	9,9499E-13
20 $V = b_0 + b_1 \text{Ln}(\text{Dc})$	57,4961438	2,329E-08
21 $V = b_0 + b_1 \text{Ht} + b_2 \text{DAP}$	171,852583	1,8942E-16
22 $V = b_0 + b_1 \text{Ht} + b_2 \text{DAP}^{2.5}$	316,53359	5,981E-20
23 $V = b_0 + b_1 \text{Ht} + b_2 \text{DAP}^2$	284,821548	2,4549E-19
24 $V = b_0 + b_1 \text{Ht} + b_2 \text{DAP}^3$	309,275666	8,1615E-20
25 $V = b_0 + b_1 \text{Ht}^2 + b_2 \text{DAP}$	206,712755	1,7069E-17
26 $V = b_0 + b_1 \text{Ht}^3 + b_2 \text{DAP}$	234,285073	3,2846E-18
27 $V = b_0 + b_1 \text{Ht}^2 + b_2 \text{DAP}^2$	337,883087	2,4901E-20
28 $V = b_0 + b_1 \text{Ht}^2 + b_2 \text{DAP}^{2.5}$	367,198128	8,1224E-21
29 $V = b_0 + b_1 \text{Ht}^3 + b_2 \text{DAP}^3$	355,742667	1,2451E-20
30 $V = b_0 + b_1 \text{Ht}^2 + b_2 \text{DAP}^3$	348,421384	1,6474E-20
31 $V = b_0 + b_1 \text{DAPHt}$	606,239492	5,4784E-21
32 $V = b_0 + b_1 \text{DAP} + b_2 \text{DAPHt}$	305,045219	9,8143E-20
33 $V = b_0 + b_1 \text{DAP}^{2.5} + b_2 \text{DAPHt}$	358,7922131	1,10983E-20
34 $V = b_0 + b_1 \text{DAP}^2 + b_2 \text{DAPHt}$	338,527769	2,4271E-20
35 $V = b_0 + b_1 \text{Ht} + b_2 \text{DAPHt}$	351,876358	1,4425E-20
36 $V = b_0 + b_1 \text{DAP}^2 \text{Ht}$	652,689101	1,966E-21
37 $V = b_0 + b_1 \text{DAPHt}^2$	380,082636	3,2765E-18
38 $V = b_0 + b_1 \text{DAP}^2 \text{Ht}^2$	488,398993	1,0789E-19
39 $V = b_0 + b_1 \text{DAP} + b_2 \text{DAP}^2 \text{Ht}$	317,964819	5,6299E-20
40 $V = b_0 + b_1 \text{DAP} + b_2 \text{DAP}^{2.5} \text{Ht}$	246,784842	1,6514E-18

Continuación

Modelos	PRUEBA F	
	F	p-valor
41 $V = b_0 + b_1Ht + b_2DAP^2Ht$	364,289712	9,0417E-21
42 $V = b_0 + b_1Ht + b_2DAPHt^2$	257,988765	9,1639E-19
43 $V = b_0 + b_1DAP^2 + b_2DAP^2Ht$	318,835131	5,4273E-20
44 $V = b_0 + b_1DAPHt + b_2DAP^2Ht$	389,547278	3,6582E-21
45 $V = b_0 + b_1DAP^2 + b_2DAPHt$	338,527769	2,4271E-20
46 $V = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^3Ht$	208,13751	1,5599E-17
47 $V = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^2$	133,776397	4,6916E-15
48 $V = b_0 + b_1DAP^2 + b_2Ht + b_3DAP^2Ht$	239,808882	1,4456E-19
49 $V = b_0 + b_1DAP + b_2Ht^2 + b_3DAP^2Ht$	256,062201	6,1588E-20
50 $V = b_0 + b_1DAP^3 + b_2Ht + b_3DAP^2Ht$	235,257016	1,8542E-19
51 $V = b_0 + b_1DAP^2 + b_2Ht^2 + b_3DAP^2Ht$	250,050644	8,3914E-20
52 $V = b_0 + b_1DAP^2 + b_2Ht + b_3DAPHt^2$	253,542851	7,0052E-20
53 $V = b_0 + b_1DAP + b_2Ht^2 + b_3DAPHt$	229,745018	2,5223E-19
54 $V = b_0 + b_1DAP^2 + b_2Ht + b_3DAPHt$	226,947349	2,9567E-19
55 $V = b_0 + b_1DAP^2 + b_2Ht^2 + b_3DAPHt$	218,806465	4,7467E-19
56 $V = b_0 + b_1DAP + b_2Ht^3 + b_3DAPHt$	204,379629	1,1466E-18
57 $V = b_0 + b_1Ht^3 + b_2DAPHt$	314,866588	6,4197E-20
58 $V = b_0 + b_1DAP^3 + b_2DAPHt$	374,827095	6,1546E-21
59 $V = b_0 + b_1DAP + b_2Ht + b_3DAPHt$	242,586005	1,2446E-19
60 $V = b_0 + b_1DAP + b_2Ht + b_3DAPHt^2$	239,6266	1,4599E-19
61 $V = b_0 + b_1DAP + b_2Ht + b_3DAP^2Ht$	246,85603	9,9197E-20
62 $V = b_0 + b_1DAP^2 + b_2Ht^2 + b_3DAP^2Ht^2$	253,375593	7,0657E-20
63 $V = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^2 + b_3DAPHt$	236,338064	1,747E-19
64 $V = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^3 + b_3DAP^2Ht$	248,993841	8,8669E-20
65 $V = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^{2,5} + b_3DAP^2Ht$	254,291353	6,7414E-20
66 $V = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^2 + b_3DAPHt^2$	253,186586	7,1347E-20
67 $V = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^3 + b_3DAPHt^2$	260,146016	5,0115E-20
68 $V = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^2 + b_3DAP^2Ht$	259,245317	5,2432E-20
69 $V = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^3 + b_3DAPHt$	244,404034	1,1295E-19
70 $V = b_0 + b_1DAP + b_2DAPHt + b_3DAP^2Ht$	250,538449	8,1813E-20
71 $V = b_0 + b_1DAP^2 + b_2DAPHt + b_3DAP^2Ht$	250,452196	8,218E-20
72 $V = b_0 + b_1DAP^3 + b_2DAPHt + b_3DAP^2Ht$	250,470986	8,21E-20
73 $V = b_0 + b_1DAP + b_2DAPHt^2 + b_3DAP^2Ht$	257,606099	5,6949E-20
74 $V = b_0 + b_1DAP^2 + b_2DAPHt^2 + b_3DAP^2Ht$	254,236659	6,7603E-20
75 $V = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^2 + b_3Ht$	197,364435	1,7993E-18
76 $V = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^3 + b_3Ht$	209,422623	8,3687E-19
77 $V = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^2 + b_3Ht^2$	229,024387	2,6272E-19
78 $V = b_0 + b_1DAP^2 + b_2DAP^3 + b_3Ht$	206,348776	1,013E-18
79 $V = b_0 + b_1Ln(Ht) + b_2Ln(DAP)$	81,2914585	2,1829E-12
80 $V = b_0 + b_1Lg_2(DAP) + b_2Ht$	98,9114218	2,0298E-13
81 $V = b_0 + b_1Lg_2(DAP) + b_2Ht^2$	119,88128	1,8695E-14

Continuación

Modelos	PRUEBA F	
	F	p-valor
82 $V = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Ht^3$	137,501988	3,3108E-15
83 $V = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Lg_2(Ht)$	81,2914585	2,1829E-12
84 $V = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAP^2$	146,589846	1,4647E-15
85 $V = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAP^{2,5}$	155,546687	6,8508E-16
86 $V = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 DAP^{2,5}$	158,270819	5,4806E-16
87 $V = b_0 + b_1 Dc^3 + b_2 DAP^2$	156,39721	6,3873E-16
88 $V = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 Ht^2$	155,223618	7,0362E-16
89 $V = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 Ht^3$	123,105191	1,3398E-14
90 $V = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAPHt$	331,024529	3,2801E-20
91 $V = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 DAPHt$	342,402401	2,0827E-20
92 $V = b_0 + b_1 Lg_2(Dc) + b_2 Lg_2(DAP)$	57,3621296	1,251E-10
93 $V = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Dc^2$	99,3315506	1,927E-13
94 $V = b_0 + b_1 Ln(Dc) + b_2 Ln(DAP)$	57,3621296	1,251E-10
95 $V = b_0 + b_1 Ln(Ht) + b_2 Ln(Dc) + b_3 Ln(DAP)$	60,651799	4,0202E-12
96 $V = b_1 DAP^2 + b_2 DAP^3 Ht + b_3 DAPHt^2 + b_4 Ht^2$	185,179718	1,0632E-18
97 $V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAPHt + b_4 DAP^2 Ht$	187,305242	9,2153E-19
98 $V = b_0 + b_1 DAP^{2,5} + b_2 Dc^2 + b_3 DAPHt + b_4 Ht^3$	193,046856	6,3107E-19
99 $V = b_0 + b_1 Dc + b_2 Ht$	94,6049983	3,4986E-13
100 $V = b_0 + b_1 DAPHt + b_2 Dc$	331,024529	3,2801E-20
101 $V = b_0 + b_1 DAP^2 Ht + b_2 Dc$	338,503864	2,4294E-20
102 $V = b_0 + b_1 DAP^3 Ht + b_2 Dc$	197,395239	3,1222E-17
103 $V = b_0 + b_1 DAPHt^2 + b_2 Dc$	250,406315	1,3614E-18
104 $V = b_0 + b_1 DAPHt^3 + b_2 Dc$	183,137679	8,2988E-17
105 $V = b_0 + b_1 DAP^2 Ht^2 + b_2 Dc$	286,101445	2,3123E-19
106 $V = b_0 + b_1 DAPHt + b_2 Dc^2$	342,402401	2,0827E-20
107 $V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht Dc$	319,333564	5,3148E-20
108 $V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht Dc$	246,399711	1,6859E-18
109 $V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 Dc$	300,87604	1,1799E-19
110 $V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP Dc$	149,9907	1,0923E-15
111 $V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 Dc$	158,853828	5,2274E-16
112 $V = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP Dc$	288,684191	2,0509E-19
113 $V = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP Dc$	308,061593	8,6029E-20
114 $V = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP^2 Dc$	311,820307	7,313E-20
115 $V = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP Dc^2$	217,336422	8,8385E-18
116 $V = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP Dc^2$	219,184001	7,907E-18
117 $V = b_0 + b_1 Ht + b_2 Ht Dc$	125,247967	1,0783E-14
118 $V = b_0 + b_1 Dc + b_2 Ht^{1,5}$	100,855122	1,5984E-13
119 $V = b_0 + b_1 Dc + b_2 Ht^{2,5}$	102,179705	1,3613E-13
120 $V = b_0 + b_1 Dc + b_2 Ht^2$	100,855122	1,5984E-13
121 $V = b_0 + b_1 Dc^3 + b_2 Ht^2$	126,948635	9,0979E-15
122 $V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Hf$	131,327105	5,9284E-15

Anexo 13: Valor estadístico de t de Student de las ecuaciones para la estimación de volumen

Modelos	t- Student			
	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄
1	V = b ₀ +b ₁ DAP	4,11E-14		
2	V = b ₀ +b ₁ DAP ^{1,5}	2,06E-15		
3	V = b ₀ +b ₁ DAP ²	3,06E-16		
4	V = b ₀ +b ₁ DAP ^{2,5}	2,01E-16		
5	V = b ₀ +b ₁ DAP ³	5,11E-16		
6	V = b ₀ +b ₁ Ln(DAP)	4,14E-11		
7	V = b ₀ +b ₁ Lg(DAP)	4,14E-11		
8	V = b ₀ +b ₁ DAP+b ₂ DAP ²	0,4364996	0,0016824	
9	V = b ₀ +b ₁ Ht	4,72E-08		
10	V = b ₀ +b ₁ Ht ²	5,43E-09		
11	V = b ₀ +b ₁ Ht ³	1,86E-09		
12	V = b ₀ +b ₁ Ln(Ht)	7,34E-07		
13	V = b ₀ +b ₁ Lg(Ht)	7,34E-07		
14	V = b ₀ +b ₁ Hf	6,41E-05		
15	V = b ₀ +b ₁ Hf ²	5,25E-05		
16	V = b ₀ +b ₁ Ln(Hf)	0,0002273		
17	V = b ₀ +b ₁ Dc	1,10E-10		
18	V = b ₀ +b ₁ Dc ²	1,90E-12		
19	V = b ₀ +b ₁ Dc ³	9,95E-13		
20	V = b ₀ +b ₁ Ln(Dc)	2,33E-08		
21	V = b ₀ +b ₁ Ht+b ₂ DAP	5,75E-05	7,14E-11	
22	V = b ₀ +b ₁ Ht+b ₂ DAP ^{2,5}	2,76E-06	2,14E-14	
23	V = b ₀ +b ₁ Ht+b ₂ DAP ²	7,77E-06	8,84E-14	
24	V = b ₀ +b ₁ Ht+b ₂ DAP ³	1,51E-06	2,92E-14	
25	V = b ₀ +b ₁ Ht ² +b ₂ DAP	4,79E-06	5,01E-11	
26	V = b ₀ +b ₁ Ht ³ +b ₂ DAP	8,84E-07	2,66E-11	
27	V = b ₀ +b ₁ Ht ² +b ₂ DAP ²	7,43E-07	7,01E-14	
28	V = b ₀ +b ₁ Ht ² +b ₂ DAP ^{2,5}	3,57E-07	2,27E-14	
29	V = b ₀ +b ₁ Ht ³ +b ₂ DAP ³	2,21E-07	9,72E-14	
30	V = b ₀ +b ₁ Ht ² +b ₂ DAP ³	2,94E-07	4,63E-14	
31	V = b ₀ +b ₁ DAPHt	5,48E-21		
32	V = b ₀ +b ₁ DAP+b ₂ DAPHt	0,296826	2,47E-08	
33	V = b ₀ +b ₁ DAP ^{2,5} +b ₂ DAPHt	2,4571274	6,4926268	

Continuación

	Modelos	t- Student			
		b ₁	b ₂	b ₃	b ₄
34	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAPHt$	0,0502229	7,24E-07		
35	$V = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAPHt$	0,0275386	5,13E-15		
36	$V = b_0 + b_1 DAP^2 Ht$	1,97E-21			
37	$V = b_0 + b_1 DAPHt^2$	3,28E-18			
38	$V = b_0 + b_1 DAP^2 Ht^2$	1,08E-19			
39	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 Ht$	0,6248408	1,41E-08		
40	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^{2,5} Ht$	0,0931518	4,38E-07		
41	$V = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP^2 Ht$	0,0502564	3,21E-15		
42	$V = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAPHt^2$	0,0029991	3,323E-13		
43	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAP^2 Ht$	0,5769823	1,65E-06		
44	$V = b_0 + b_1 DAPHt + b_2 DAP^2 Ht$	0,0178428	0,0059878		
45	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAPHt$	0,0502229	7,24E-07		
46	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 Ht$	0,007377	4,37E-06		
47	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2$	0,4364996	0,0016824		
48	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht + b_3 DAP^2 Ht$	0,4363537	0,0455076	0,0088206	
49	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 + b_3 DAP^2 Ht$	0,1567263	0,0165137	4,66E-05	
50	$V = b_0 + b_1 DAP^3 + b_2 Ht + b_3 DAP^2 Ht$	0,7329199	0,4971207	0,0384981	
51	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^2 + b_3 DAP^2 Ht$	0,237165	0,0243509	0,0579999	
52	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht + b_3 DAPHt^2$	0,0010257	0,8417426	0,0039993	
53	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 + b_3 DAPHt$	0,1767532	0,0447796	0,000203	
54	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht + b_3 DAPHt$	0,7727632	0,3012785	0,0195572	
55	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^2 + b_3 DAPHt$	0,4457353	0,710458	0,6659842	
56	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^3 + b_3 DAPHt$	0,6204297	0,305753	0,0055264	
57	$V = b_0 + b_1 Ht^3 + b_2 DAPHt$	0,1655861	5,05E-13		
58	$V = b_0 + b_1 DAP^3 + b_2 DAPHt$	0,0106003	1,08E-07		
59	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht + b_3 DAPHt$	0,1815923	0,0199502	8,78E-06	
60	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht + b_3 DAPHt^2$	0,0022476	0,1837852	1,04E-05	
61	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht + b_3 DAP^2 Ht$	0,2459417	0,028298	6,95E-06	
62	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht^2 + b_3 DAP^2 Ht^2$	0,0111087	0,8795212	0,0473798	
63	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAPHt$	0,1469952	0,02931	5,21E-07	
64	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 + b_3 DAP^2 Ht$	0,1667991	0,0249049	3,66E-07	
65	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^{2,5} + b_3 DAP^2 Ht$	0,0401309	0,0182755	2,36E-07	
66	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAPHt^2$	0,9503621	0,0747882	2,09E-07	
67	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 + b_3 DAPHt^2$	0,1199398	0,0491764	2,04E-07	
68	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAP^2 Ht$	0,0143505	0,0137968	1,53E-07	
69	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 + b_3 DAPHt$	0,5470235	0,0178867	4,69E-07	

Continuación

	Modelos	t- Student			
		b ₁	b ₂	b ₃	b ₄
70	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAPHt + b_3 DAP^2 Ht$	0,9136183	0,022733	0,0124781	
71	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAPHt + b_3 DAP^2 Ht$	0,9566325	0,0237809	0,058261	
72	$V = b_0 + b_1 DAP^3 + b_2 DAPHt + b_3 DAP^2 Ht$	0,9443266	0,1509292	0,3197863	
73	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAPHt^2 + b_3 DAP^2 Ht$	0,1260314	0,0151291	0,057161	
74	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAPHt^2 + b_3 DAP^2 Ht$	0,1569341	0,0190753	0,7403527	
75	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 Ht$	0,168219	0,0001403	5,70E-06	
76	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^3 + b_3 Ht$	0,2507796	6,32E-05	3,65E-06	
77	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 Ht^2$	0,2453864	0,0002118	7,91E-07	
78	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAP^3 + b_3 Ht$	0,3314418	0,0818097	3,83E-06	
79	$V = b_0 + b_1 Ln(Ht) + b_2 Ln(DAP)$	0,0010003	6,65E-08		
80	$V = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Ht$	8,35E-08	8,25E-05		
81	$V = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Ht^2$	5,98E-08	6,99E-06		
82	$V = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Ht^3$	2,90E-08	1,18E-06		
83	$V = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Lg_2(Ht)$	6,65E-08	0,0010003		
84	$V = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAP^2$	0,0889651	1,98E-07		
85	$V = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAP^{2,5}$	0,0580319	9,14E-08		
86	$V = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 DAP^{2,5}$	0,0446622	3,86E-06		
87	$V = b_0 + b_1 Dc^3 + b_2 DAP^2$	0,0334207	8,55E-06		
88	$V = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 Ht^2$	0,0373602	4,99E-06		
89	$V = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 Ht^3$	1,202E-07	0,000105		
90	$V = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAPHt$	0,0717712	3,91E-12		
91	$V = b_0 + b_1 Dc^2 + b_2 DAPHt$	0,0420104	1,24E-10		
92	$V = b_0 + b_1 Lg_2(Dc) + b_2 Lg_2(DAP)$	0,0903865	0,0001226		
93	$V = b_0 + b_1 Lg_2(DAP) + b_2 Dc^2$	0,0017471	7,81E-05		
94	$V = b_0 + b_1 Ln(Dc) + b_2 Ln(DAP)$	0,0903865	0,0001226		
95	$V = b_0 + b_1 Ln(Ht) + b_2 Ln(Dc) + b_3 Ln(DAP)$	0,000875	0,0650417	0,0012515	
96	$V = b_1 DAP^2 + b_2 DAP^3 Ht + b_3 DAPHt^2 + b_4 Ht^2$	0,0145217	0,5885735	0,4133481	0,7746785
97	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAPHt + b_4 DAP^2 Ht$	0,3538349	0,3562194	0,9221736	0,1304981
98	$V = b_0 + b_1 DAP^{2,5} + b_2 Dc^2 + b_3 DAPHt + b_4 Ht^3$	0,041008	0,2153015	0,6715549	0,1527985
99	$V = b_0 + b_1 Dc + b_2 Ht$	1,45E-07	5,50E-05		
100	$V = b_0 + b_1 DAPHt + b_2 Dc$	3,910E-12	0,0717711		
101	$V = b_0 + b_1 DAP^2 Ht + b_2 Dc$	2,89E-12	0,1691473		
102	$V = b_0 + b_1 DAP^3 Ht + b_2 Dc$	3,97E-09	0,0158946		
103	$V = b_0 + b_1 DAPHt^2 + b_2 Dc$	1,67E-10	0,0046019		
104	$V = b_0 + b_1 DAPHt^3 + b_2 Dc$	1,07E-08	0,000814		
105	$V = b_0 + b_1 DAP^2 Ht^2 + b_2 Dc$	2,80E-11	0,02463		

Continuación

	Modelos	t- Student			
		b ₁	b ₂	b ₃	b ₄
106	$V = b_0 + b_1 DAP Ht + b_2 Dc^2$	1,24E-10	0,0420104		
107	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 Ht Dc$	5,73E-07	1,61E-06		
108	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht Dc$	2,00E-05	4,47E-07		
109	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Ht^2 Dc$	9,60E-08	2,98E-08		
110	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP Dc$	0,5384529	0,000359		
111	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 Dc$	0,109497	0,0001658		
112	$V = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP Dc$	3,27E-05	7,38E-14		
113	$V = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP Dc$	1,33E-05	2,44E-13		
114	$V = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP^2 Dc$	7,67E-06	2,62E-14		
115	$V = b_0 + b_1 Ht + b_2 DAP Dc^2$	6,26E-05	3,26E-12		
116	$V = b_0 + b_1 Ht^2 + b_2 DAP Dc^2$	5,57E-05	2,31E-11		
117	$V = b_0 + b_1 Ht + b_2 Ht Dc$	0,3281186	4,25E-09		
118	$V = b_0 + b_1 Dc + b_2 Ht^{1.5}$	5,33E-07	2,44E-05		
119	$V = b_0 + b_1 Dc + b_2 Ht^{2.5}$	8,85E-07	2,07E-05		
120	$V = b_0 + b_1 Dc + b_2 Ht^2$	5,33E-07	2,44E-05		
121	$V = b_0 + b_1 Dc^3 + b_2 Ht^2$	2,88E-08	0,0001342		
122	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 Hf$	2,45E-12	0,0021614		

Anexo 14: Estadísticos del análisis de regresión de las ecuaciones que cumplieron con los supuestos para la estimación de volumen

1. Análisis estadístico de la ecuación 22: $V = b_0 + b_1Ht + b_2DAP^{2,5}$

ESTADÍSTICA DE LA REGRESIÓN					
Coefficiente de correlación múltiple		0,97858578			
Coefficiente de determinación R^2		0,95763013			
R^2 ajustado		0,95460371			
Error típico		0,02238468			
Observaciones		31			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	0,31710295	0,15855147	316,423465	6,009E-20
Residuos	28	0,01403006	0,00050107		
Total	30	0,33113301			
COEFICIENTES DE VARIABLES					
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	-0,07596257	0,02136539	-3,55540309	0,00136452	
HT	0,02602939	0,00445217	5,84645241	2,7685E-06	
DAP ^{2,5}	6,563E-05	4,5903E-06	14,2974303	2,1521E-14	

2. Análisis de regresión de la ecuación 24: $V = b_0 + b_1Ht + b_2DAP^3$

ESTADÍSTICA DE LA REGRESIÓN					
Coefficiente de correlación múltiple		0,9781019			
Coefficiente de determinación R^2		0,95668332			
R^2 ajustado		0,95358927			
Error típico		0,0226334			
Observaciones		31			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	0,31678943	0,15839472	309,201153	8,1879E-20
Residuos	28	0,01434358	0,00051227		
Total	30	0,33113301			
COEFICIENTES DE VARIABLES					
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	-0,06199811	0,02209456	-2,80603519	0,00902294	
HT	0,02705182	0,00445662	6,07003203	1,5161E-06	
DAP ³	1,1366E-05	8,0502E-07	14,1186548	2,9367E-14	

3. Análisis de regresión de la ecuación 31: $V = b_0 + b_1DAPHt$

ESTADÍSTICA DE LA REGRESIÓN					
Coefficiente de correlación múltiple		0,97689966			
Coefficiente de determinación R ²		0,95433294			
R ² ajustado		0,95275822			
Error típico		0,02283514			
Observaciones		31			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,31601114	0,31601114	606,031074	5,5046E-21
Residuos	29	0,01512187	0,00052144		
Total	30	0,33113301			
COEFICIENTES DE VARIABLES					
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	-0,03836361	0,00907271	-4,22846262	0,00021445	
DAPxHT	0,00201448	8,1831E-05	24,6176984	5,5046E-21	

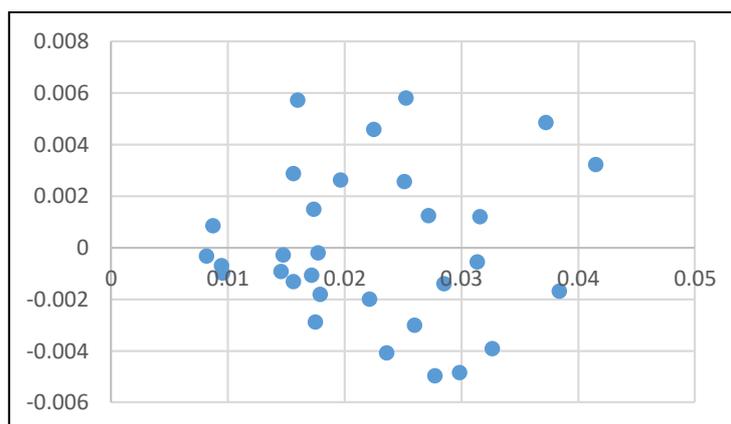
4. Análisis de regresión de la ecuación 104: $V = b_0 + b_1 Dc + b_2 DAPht^3$

ESTADÍSTICA DE LA REGRESIÓN					
Coefficiente de correlación múltiple		0,96383958			
Coefficiente de determinación R ²		0,92898673			
R ² ajustado		0,92391435			
Error típico		0,02897957			
Observaciones		31			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	0,30761817	0,15380909	183,146244	8,2938E-17
Residuos	28	0,02351484	0,00083982		
Total	30	0,33113301			
COEFICIENTES DE VARIABLES					
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	-0,04319906	0,03060781	-1,41137406	0,16915037	
DC	0,03444115	0,00918038	3,75160519	0,00081454	
DAPxHT ³	1,7383E-05	2,1767E-06	7,98598582	1,07E-08	

Anexo 15: Estadísticos de las ecuaciones ponderadas seleccionadas para la estimación de biomasa.

1. Análisis de regresión ponderada de la ecuación 65.

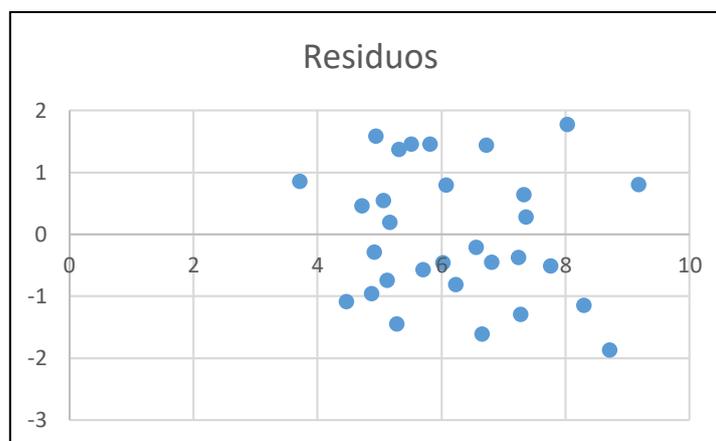
Ecuación original	$B/DAP^3 = -121,2003 + 31,3565 * DAP + -5,4343 * DAP^{1.5} + 0,0417 * DAP^2 * Ht / DAP^3$			
R2	CME	F	p-value	t de Student
0,94	146,781269	147,231993	7,6525E-17	Si



2. Análisis de residuos del modelo ponderado de la ecuación 65.

3. Análisis de regresión ponderada de la ecuación 92

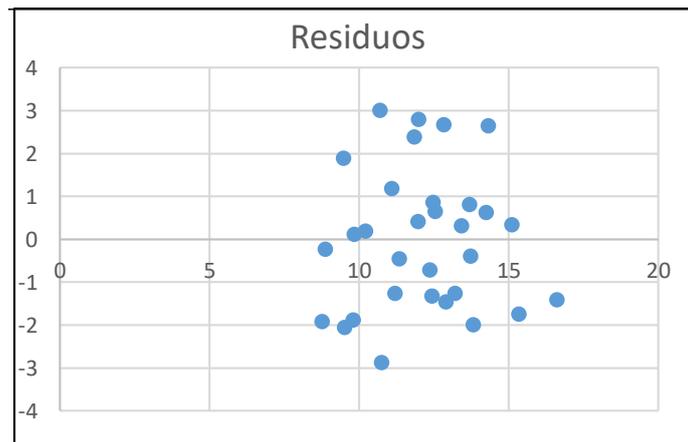
Ecuación original	$B/ Dc^2 = -299,0602 + 45,9836 * \log_2(Dc) + 76,3772 * \log_2(DAP) / Dc^2$			
R2	CME	F	p-value	t de Student
0,84	401,858402	71,597054	9,8032E-12	Si



4. Análisis de residuos del modelo ponderado de la ecuación 92.

5. Análisis de regresión ponderada de la ecuación 101

Ecuación original	$B / Dc^{1.5} = 9,2089 + 13,1776 * Dc + 0,0196 * DAP^2 * xHt / Dc^{1.5}$			
R2	CME	F	p-value	t de Student
0,92	195,011897	162,388701	3,9373E-16	Si

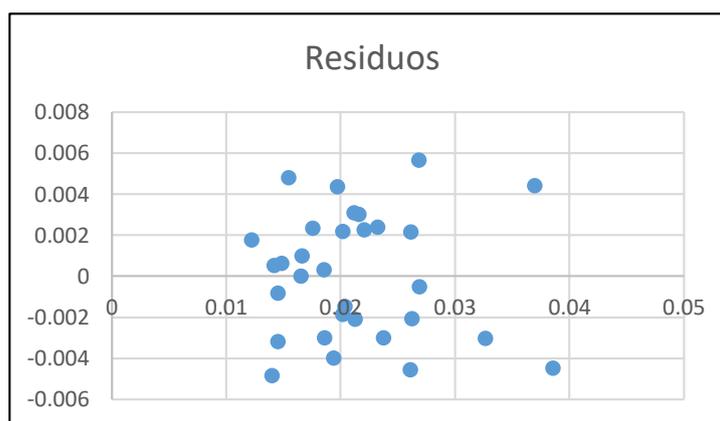


6. Análisis de residuos del modelo ponderado de la ecuación 101.

Anexo 16: Estadísticos de las ecuaciones ponderadas seleccionadas para la estimación de volumen

1. Análisis de regresión de la ecuación ponderada 103.

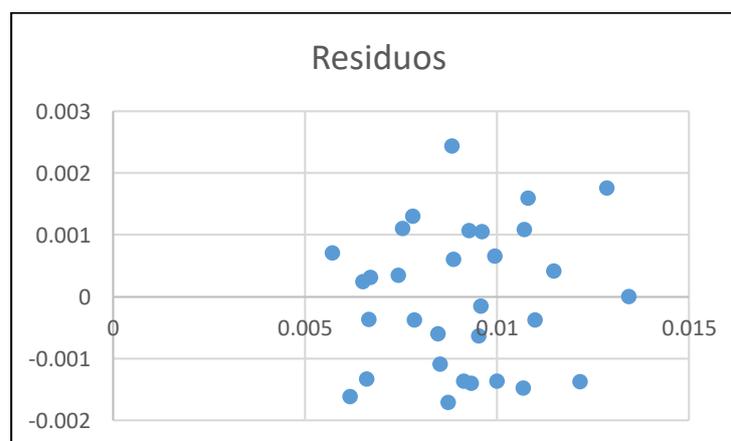
Ecuación original	$V / DAP^{0,2} \times Dc = -0,0444 + 0,0258 * Dc + 0,0002 * DAP \times Ht^2 / DAP^{0,2} \times Dc$			
R ²	CME	F	p-value	t de Student
0,95	0,00062617	250,411919	1,361E-18	Si



2. Análisis de residuos del modelo ponderado 103.

3. Análisis de regresión de la ecuación ponderada 113.

Ecuación original	$V = -0,0413 + 0,0021 * Ht^2 + 0,0019 * DAP \times Dc / DAP^{0,5} \times Dc$			
R ²	CME	F	p-value	t de Student
0,96	0,00051408	308,061593	8,6029E-20	Si



4. Análisis de residuos del modelo ponderado 113.