

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**DETERMINACIÓN DE ECUACIONES PARA
ESTIMAR BIOMASA EN LA PARTE LEÑOSA
AÉREA DE *POLYLEPIS FLAVIPILA* "QUINUAL"
EN EL BOSQUE JAPANÍ - HUAROCHIRÍ, LIMA**

Presentado por:

Miriam Natalí Rivera Paucar

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL

Lima - Perú
2018

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por la ex-alumna de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. MIRIAM NATALÍ RIVERA PAUCAR, intitulado “DETERMINACIÓN DE ECUACIONES PARA ESTIMAR BIOMASA EN LA PARTE LEÑOSA AÉREA DE *POLYLEPIS FLAVIPILA* "QUINUAL" EN EL BOSQUE JAPANÍ - HUAROCHIRÍ, LIMA ”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de

En consecuencia, queda en condición de ser considerada APTA y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 15 de Junio de 2017

.....
Ing. Ignacio Rómulo Lombardi
Indacochea
Presidente

.....
Ing. Wilfredo Ojeda Ojeda
Miembro

.....
Ing. Juan Carlos Ocaña Canales
Miembro

.....
Ing. Víctor Manuel Barrena Arroyo
Asesor

DEDICATORIA

A Camila y Francisco, mis padres, a William, Soledad, Israel, Yhovana y Rafael, mis hermanos, quienes me apoyaron en todo aspecto en mi formación académica; a mis maestros y amigos que han sido parte de mi vida universitaria y de quienes fui aprendiendo cada día.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera muy especial a mi asesor, el profesor Víctor Barrera Arroyo; por toda su paciencia, dedicación y orientación en el desarrollo de la presente tesis.

Al laboratorio de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) por brindarme facilidades de poder determinar la densidad básica de mis muestras; en especial al Profesor Moisés Acevedo por su asesoría en este tema y al Sr. Vicente Cuba, quien me apoyó en el procesamiento de las muestras.

Esta investigación no hubiese sido posible sin la valiosa ayuda en el trabajo de campo de Nataly Valencia, Ana Dueñas, Ruth Escobedo, María Paula Seminario, Moisés Ascencios Alonso Túpac Yupanqui y Estefani Luján; amigos de la universidad, quienes estuvieron dispuestos a caminar y acampar en el bosque para poder realizar las evaluaciones. Del mismo modo agradezco a la Comunidad Campesina de Carampoma por permitirme ingresar al bosque Japoní, en especial al Sr. Benturo Villaroel y a la Sra. Aida Hinostroza, quienes me apoyaron en las coordinaciones durante todas las salidas de campo.

A Johnny Huamaní, técnico del Laboratorio de Teledetección Aplicada y SIG de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM, quien me orientó en el uso de herramientas del ArcGis y en la elaboración de algunos mapas temáticos.

Finalmente, a la Oficina de Investigación de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM, por el financiamiento otorgado para el desarrollo del proyecto.

RESUMEN

El presente estudio se realizó con 40 individuos de *Polylepis flavipila* evaluados en el bosque “Japaní”, situado en la comunidad campesina Santiago de Carampoma en el distrito Carampoma, provincia Huarochirí, departamento de Lima. El objetivo fue determinar la mejor ecuación que estime la cantidad de biomasa aérea leñosa de los árboles en pie de *Polylepis flavipila*. Para ello, en campo, se evaluaron los árboles mediante el método no destructivo, en laboratorio se determinó la densidad básica del fuste de la especie en estudio y en gabinete se calculó el volumen total de cada individuo, se determinó la biomasa aérea leñosa de cada individuo y se eliminaron valores atípicos; asimismo se seleccionaron 100 modelos de ecuaciones a partir de bibliografía de estudios similares y se realizó la regresión lineal basada en los mínimos cuadrados a través de la herramienta “Análisis de Datos” del *software* Microsoft Excel. Para la selección de ecuaciones, se analizaron los resultados y se tomó en cuenta los siguientes criterios estadísticos: el coeficiente de determinación (R^2), las pruebas de significancia estadística Fisher y t-Student y el análisis gráfico de residuos para determinar la homogeneidad de varianzas (homocedasticidad). Fueron 45 los modelos de ecuaciones que cumplieron con los criterios estadísticos, pero solo uno presentó homocedasticidad. Ante ello, se realizó la regresión ponderada con los 44 modelos que no presentaron homocedasticidad, donde se agregaron factores de ponderación a cada modelo seleccionado, obteniendo así 1 625 nuevas ecuaciones ponderadas, las que fueron analizadas y seleccionadas de acuerdo a los criterios estadísticos mostrados anteriormente. De estas solo tres ecuaciones ponderadas lograron homogenizar la varianza de sus residuos; finalmente para seleccionar la mejor ecuación se calculó y comparó su Índice de Furnival de las cuatro ecuaciones que presentaron homocedasticidad, donde se llegó a la conclusión que la mejor ecuación que estima la biomasa aérea leñosa de los árboles de *Polylepis flavipila* es: $B = - 0,026291 + 0,001652 d_{1,3} * h$.

Palabras claves: *Polylepis flavipila*, Japaní, Biomasa, Densidad Básica, Modelos, Métodos estadísticos.

SUMMARY

The present study was carried out with 40 individuals of *Polylepis flavipila* evaluated in the "Japaní" forest, located in the rural community of Santiago de Carampoma in the Carampoma district, Huarochirí province, department of Lima. The objective was to determine the best equation estimating the amount of woody aerial biomass of standing trees of *Polylepis flavipila*. To do this, in the field, the trees were evaluated by means of the non-destructive method, in laboratory the basic density of the stem of the species under study was determined and in the cabinet the total volume of each individual was calculated, the woody aerial biomass of each Individual and atypical values were eliminated; 100 models of equations were also selected from bibliographies of similar studies and linear regression based on the least squares was performed through the tool "Data Analysis" of Microsoft Excel software. For the selection of equations, the results were analyzed and the following statistical criteria were taken into account: the coefficient of determination (R^2), the tests of statistical significance Fisher and t-Student and the graphic analysis of residues to determine the homogeneity of variances (Homoscedasticity). There were 45 models of equations that met the statistical criteria but only one presented homoscedasticity. The weighted regression was performed with the 44 models that did not present homoscedasticity, where weighting factors were added to each selected model, obtaining 1 625 new weighted equations, which were analyzed and selected according to the statistical criteria shown above. Of these, only three weighted equations were able to homogenize the variance of their residues; Finally, to select the best equation, we calculated and compared its Furnival index of the four equations that presented homoscedasticity, where it was concluded that the best equation that estimates the woody aerial biomass of the trees of *Polylepis flavipila* is: $B = - 0, 026291 + 0.001652 d_{1,3} * h$.

Key words: *Polylepis flavipila*, Japaní, Biomass, Basic Density, Models, Statistical methods.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. Introducción	1
II. Revisión de Literatura	3
1. Los bosques de Polylepis.....	3
2. Descripción de Polylepis flavipila	4
2.1. Taxonomía	4
2.2. Distribución de la especie.....	5
2.3. Estado de conservación.....	6
2.4. Descripción dendrológica.....	6
3. Biomasa Forestal	8
3.1. Definición	8
3.2. Métodos para determinar biomasa forestal	9
3.2.1. Método directo.....	10
3.2.2. Método indirecto.....	10
3.2.3. Modelos alométricos para la estimación de biomasa	11
3.3. Contenido de carbono en la biomasa	14
4. Los bosques y el cambio climático	14
5. Análisis de regresión lineal.....	17
5.1. Coeficiente de determinación R^2	18
5.2. Prueba Fisher (F).....	19
5.3. Prueba t - Student.....	20
5.4. Análisis de residuos.....	20
5.5. Análisis de regresión ponderada	21
5.6. Selección de ecuaciones	21
6. Estudios relacionados	22
III. Materiales y Métodos	25
1. Descripción del lugar de estudio	25
1.1. Ubicación.....	25
1.2. Ecosistemas.....	25
1.3. Accesibilidad.....	26
1.4. Hidrología	26
1.5. Flora.....	26
1.6. Fauna.....	28
2. Materiales y EQUIPOS	29
2.1. Trabajo de campo.....	29
2.2. Trabajo de laboratorio	30
2.3. Trabajo de gabinete.....	31
3. Metodología	31
3.1. Fase de planificación.....	31
3.1.1. Tamaño de muestra.....	31
3.1.2. Estratificación del bosque	31
3.1.3. Distribución de la muestra.....	32
3.1.4. Identificación de coordenadas UTM de los árboles a evaluar	32
3.2. Fase de campo.....	32
3.2.1. Presentación de la investigación a la comunidad	32
3.2.2. Traslado desde la comunidad hasta el bosque.....	32
3.2.3. Marcado de árboles a evaluar.....	33

3.2.4.	Medición de árboles.....	33
3.2.5.	Extracción de rodajas de madera para determinar densidad	35
3.2.6.	Traslado de las rodajas de madera	35
3.2.7.	Acondicionamiento de las rodajas de madera	35
3.3.	Fase de laboratorio.....	35
3.3.1.	Preparación de las secciones de rodaja de madera	35
3.3.2.	Pesado de las secciones de rodaja de madera.....	36
3.3.3.	Determinación del volumen de cada sección de rodaja de madera	36
3.3.4.	Secado de las secciones de rodaja de madera.....	36
3.4.	Fase de gabinete.....	37
3.4.1.	Ingreso y verificación de los datos.....	37
3.4.2.	Cálculo del volumen de cada árbol	37
3.4.3.	Cálculo del contenido de humedad y de la densidad básica de la madera.....	37
3.4.4.	Cálculo de la biomasa de cada árbol	38
3.4.5.	Análisis de datos.....	38
3.4.6.	Selección de modelos.....	38
3.4.7.	Análisis de regresión.....	39
IV.	Resultados y discusión	43
1.	FASE DE PLANIFICACIÓN	43
1.1.	Sobre el tamaño de muestra	43
1.2.	Sobre la estratificación del bosque	43
1.3.	Sobre la distribución de la muestra e identificación de sus coordenadas UTM.....	44
2.	FASE DE CAMPO.....	46
2.1.	Sobre la presentación de la investigación a la comunidad	46
2.2.	Sobre el traslado de la comunidad hasta el bosque	46
2.3.	Marcado de árboles	47
2.4.	Medición de árboles	49
2.5.	Sobre la extracción y traslado de rodajas de madera	59
2.6.	Sobre el acondicionamiento de las rodajas de madera	60
3.	FASE DE LABORATORIO.....	61
3.1.	Preparación de las secciones de rodajas de madera	61
3.2.	Pesado de las secciones de rodaja de madera	62
3.3.	Determinación del volumen de cada sección de rodaja de madera	62
3.4.	Secado de las secciones de rodaja de madera.....	64
4.	FASE DE GABINETE	65
4.1.	Ingreso y verificación de los datos	65
4.2.	Volumen individual de cada árbol.....	66
4.3.	Contenido de Humedad (CH%) y Densidad Básica (DB) de la madera de <i>Polylepis flavipila</i>	67
4.4.	Biomasa de cada árbol	68
4.5.	Análisis de variables.....	69
4.6.	Selección de modelos de ecuaciones.....	77
4.7.	Análisis de regresión.....	81
4.7.1.	Coeficiente de determinación (R^2).....	82
4.7.2.	Prueba estadística Fisher (F)	86
4.7.3.	Prueba estadística t – Student (t)	89
4.7.4.	Análisis de residuos	92
4.8.	Análisis de regresión ponderada	94
4.9.	Elección de la mejor ecuación	99
V.	Conclusiones	105
VI.	Recomendaciones	107

VII.	Referencias bibliográficas	109
VIII.	Anexos.....	120

Índice de tablas

	Página
Tabla 1:	Lista de especies vegetales encontradas en el bosque Japaní 27
Tabla 2:	Coordenadas UTM de los 45 árboles preliminares a evaluar en el bosque Japaní. 45
Tabla 3:	Datos del árbol N° 30 en el formato de evaluación..... 51
Tabla 4:	Base de datos de los 42 árboles de <i>P. flavipila</i> 54
Tabla 5:	Pesos y volúmenes de las secciones de rodaja de madera de <i>P. flavipila</i> 63
Tabla 6:	Datos y volumen calculado de cada uno de los árboles evaluados..... 66
Tabla 7:	Contenido de humedad (%) encontrada en <i>P. flavipila</i> 67
Tabla 8:	Densidad básica (g/cm^3) de <i>P. flavipila</i> 68
Tabla 9:	Biomasa calculada para cada uno de los árboles evaluados 68
Tabla 10:	Coefficiente de correlación (R) entre las variables de estudio..... 77
Tabla 11:	Modelos de ecuación de biomasa con las que se trabajó. 78
Tabla 12:	Estadísticas de regresión 81
Tabla 13:	Análisis de varianza 81
Tabla 14:	Determinación del intercepto y coeficiente de la ecuación..... 82
Tabla 15:	Ecuaciones y Coeficientes de Determinación 82
Tabla 16:	Prueba estadística F..... 87
Tabla 17:	Prueba estadística t-Student 89
Tabla 18:	Ecuaciones ponderadas seleccionadas..... 95
Tabla 19:	Índice de Furnival para la elección de la mejor ecuación. 99
Tabla 20:	Errores generados a partir de la ecuación elegida. 101

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Distribución de <i>P. flavipila</i> en el Perú.....	6
Figura 2: <i>Polylepis flavipila</i> . (A) hábito. (B) ápice – rama con inflorescencias jóvenes. (C) hoja; folios izquierda muestran superficie superior, folio derecha muestra la superficie inferior. (D) Flor. (E) fruto.....	8
Figura 3: Mapa de ubicación del área de estudio.....	25
Figura 4: Árbol de <i>Polylepis flavipila</i> en el bosque Japaní, fotografiado por la tesista.....	27
Figura 5: Secciones formadas para la toma de medidas en <i>P. flavipila</i>	34
Figura 6: Mapa de estratificación del bosque Japaní, Carampoma – Huarochirí.....	44
Figura 7: Distribución de los 45 árboles preliminares a evaluar.....	45
Figura 8: Marcado de árboles de <i>P. flavipila</i>	47
Figura 9: Árboles marcados y evaluados en el bosque Japaní.....	48
Figura 10: Perfil de los árboles 18, 39, 41 y 44.....	49
Figura 11: Mediciones del árbol de <i>P. flavipila</i>	50
Figura 12: Clases diamétricas de los árboles de <i>P. flavipila</i>	56
Figura 13: Clases de alturas de los árboles de <i>P. flavipila</i>	57
Figura 14: Relación del dap y altura total de los árboles de <i>P. flavipila</i>	57
Figura 15: Relación del dap vs D copa de los árboles de <i>P. flavipila</i>	58
Figura 16: Relación del Ht vs D copa de los árboles de <i>P. flavipila</i>	58
Figura 17: Extracción de rodajas de madera.....	59
Figura 18: Rodajas de madera codificadas correspondientes al árbol N°2.....	60
Figura 19: Acondicionamiento de las muestras de madera.....	60
Figura 20: Marcado y codificado de las secciones de los discos de madera.....	61
Figura 21: Secciones en las que fue dividido el disco 1Fa.....	61
Figura 22: Pesado de las secciones de rodaja de madera.....	62
Figura 23: Obtención de pesos para determinar el volumen de cada sección de madera.....	62
Figura 24: Secado de las muestras.....	64
Figura 25: Secciones de madera en el desecador.....	65
Figura 26: Relación de la Biomasa y el dap de los 42 árboles de <i>P. flavipila</i>	69
Figura 27: Relación de la Biomasa y altura total de los 42 árboles de <i>P. flavipila</i>	70
Figura 28: Relación de la Biomasa y diámetro de copa de los 42 árboles de <i>P. flavipila</i>	71

Figura 29:	Relación de la Biomasa y diámetro de la base de los 42 árboles de <i>P. flavipila</i>	71
Figura 30:	Relación de la Biomasa y altura al punto de copa de los 42 árboles de <i>P. flavipila</i>	72
Figura 31:	Relación de la Biomasa y el dap de los 40 árboles de <i>P. flavipila</i>	73
Figura 32:	Relación de la Biomasa y altura total de los 40 árboles de <i>P. flavipila</i>	73
Figura 33:	Relación de la Biomasa y diámetro de copa de los 40 árboles de <i>P. flavipila</i>	74
Figura 34:	Relación de la Biomasa y dbase de los 40 árboles de <i>P. flavipila</i>	74
Figura 35:	Relación de la Biomasa y hpto.de copa de los 40 árboles de <i>P. flavipila</i>	75
Figura 36:	Relación de la Biomasa y dap^2 de los 40 árboles de <i>P. flavipila</i>	75
Figura 37:	Relación de la Biomasa y dap^2h de los 40 árboles de <i>P. flavipila</i>	76
Figura 38:	Análisis de residuos del modelo 32: $B = b_0 + b_1*dap*h$ (Homodástica)	92
Figura 39:	Análisis de residuos del modelo 1: $B = b_0 + b_1*dap$	93
Figura 40:	Análisis de residuos del modelo 57: $B = b_0 + b_1dap^3*h$	93
Figura 41:	Modelo 31 ponderado con factor de ponderación $dap^{0.5}$	97
Figura 42:	Modelo 94 ponderado con factor de ponderación $dap^{0.5}$	97
Figura 43:	Modelo 95 ponderado con factor de ponderación $dcopa^{0.5}$	98
Figura 44:	Biomasa real versus biomasa estimada de árboles de <i>P. flavipila</i> en función al dap.....	100
Figura 45:	Biomasa real versus biomasa estimada de árboles de <i>P. flavipila</i> en función a la h.....	100
Figura 46:	Biomasa real versus los errores generados por la ecuación elegida.	102

Índice de anexos

	Página
ANEXO 1: FORMATO DE EVALUACIÓN PARA CADA UNO DE LOS ÁRBOLES	120
ANEXO 2: CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD BÁSICA DE LAS SECCIONES DE MADERA DE <i>P. FLAVIPILA</i>	121
ANEXO 3: ANÁLISIS DE RESIDUALES DE LOS MODELOS SIN PONDERAR	124
ANEXO 4: CANTIDAD Y CONDICIÓN DE LAS ECUACIONES PONDERADAS	139
ANEXO 5: PANORAMA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	142
ANEXO 6: VISTA INTERIOR DEL BOSQUE.....	143
ANEXO 7: REGRESIÓN PONDERADA DEL MODELO 31 ($1/K = 1/DAP^{0,5}$).....	144
ANEXO 8: REGRESIÓN PONDERADA DEL MODELO 94 ($1/K = 1/DAP^{0,5}$).....	145
ANEXO 9: REGRESIÓN PONDERADA DEL MODELO 95 ($1/K = 1/DCOPA^{0,5}$).....	146

I. INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación global por las altas concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, ha llevado a desarrollar diversas estrategias que contribuyan a mitigar los efectos de este gas, una forma de hacer frente a esta problemática es realizando plantaciones forestales con especies nativas o conservando nuestros bosques naturales, principalmente aquellos bosques relictos que albergan especies forestales en situación vulnerable o en peligro de extinción. El Perú considerado como uno de los países de mayor diversidad biológica en el mundo, contradictoriamente es uno de los que menos ha estudiado la dinámica de sus bosques andinos, cuando bien es sabido que éstos juegan un papel importante en el ciclo global del carbono. Debido a que son los principales almacenadores de agua y a la alta radiación solar que poseen, permiten una acumulación evidente de biomasa, siendo este último uno de los servicios ambientales que permite la acumulación de carbono atmosférico, convirtiéndose en un controlador del calentamiento global.

Las altas concentraciones de CO₂ en el ambiente provenientes principalmente de las industrias y de la deforestación hacen que el efecto invernadero se intensifique y con ello el calentamiento de la tierra también sea cada vez mayor; este fenómeno es muy evidente en las comunidades andinas, poblaciones más vulnerables al cambio climático; puesto que hoy en día se observa heladas tempranas, variaciones de temperaturas que ocasionan que las mañanas sean muy frías y las tardes muy calurosas debido a la gran intensidad de la radiación solar. Así mismo, las lluvias son más fuertes e impredecibles, las sequías más extremas, lo cual hace que se incremente los suministros para el consumo humano, la agricultura y la generación de energía.

Por otro lado, los bosques nativos, principalmente los de sierra, no han sido muy estudiados a pesar de que éstos tienen un potencial en la acumulación de biomasa que permite la acumulación de carbono atmosférico. Esto constituye una oportunidad de obtener beneficios por medio de la venta de bonos de carbono para las comunidades donde se encuentran estos bosques; además las comunidades cuentan con gran cantidad de tierras de aptitud forestal que no están siendo usados como tal.

Entonces, una forma de contrarrestar estos problemas es incrementando la biomasa forestal mediante la conservación y/o reforestación de masas arbóreas en las comunidades andinas. Por lo que es muy importante conocer la cantidad de biomasa almacenado por especies de sierra y que éstas sean principalmente nativas, como el *Polylepis* en este caso.

Por lo que este trabajo de investigación busca contribuir dando el primer paso, que es encontrar ecuaciones que permitan cuantificar la cantidad de biomasa por *Polylepis flavipila*, especie en situación vulnerable que “se encuentra únicamente en los andes peruanos” (Mendoza y Cano 2011), en el bosque Japaní. Al conocer estos resultados los directos beneficiarios son los pobladores de la comunidad campesina Santiago de Carampoma, quienes actualmente vienen trabajando dándole un potencial turístico al bosque Japaní y quienes en un futuro de manera complementaria a la conservación del bosque podrían vender bonos de carbono a partir del stock que presenta dicho bosque; pero para lo cual precisan conocer la cantidad de carbono capturado que se tiene en el bosque Japaní.

En ese sentido, el presente trabajo tiene como objetivo general: contribuir a mitigar el cambio climático a partir del estudio de la biomasa de poblaciones alto andinas de *Polylepis flavipila*; y como objetivos específicos: i. Calcular el volumen contenido en el fuste y ramas de una muestra del bosque Japaní, ii. Determinar la densidad básica de la madera de *Polylepis flavipila*, iii. Calcular la cantidad de biomasa en la muestra evaluada, iv. Construir ecuaciones que estimen la cantidad de biomasa almacenada en la parte leñosa aérea de *Polylepis flavipila* en el bosque Japaní y finalmente v. Elegir la mejor ecuación que estime la cantidad de biomasa almacenado para el bosque Japaní.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. LOS BOSQUES DE POLYLEPIS

Los bosques de *Polylepis* son hábitats únicos en los Andes donde existe una gran diversidad de plantas y animales silvestres, muchos de ellos endémicos o amenazados. Las aves, son un grupo de animales más evidentes que usan el bosque como refugio y fuente de alimento, habiéndose registrado en ellos más de 150 especies, alguna de ellas asociadas a una especie en particular del género *Polylepis* (Fjeldsa, Kessler y Cáceres, citados por Urquiaga 2012).

Desde el punto de vista etnobotánico, casi el 50 por ciento de especies de las plantas herbáceas encontradas en el sotobosque son usadas en medicina tradicional por las comunidades etnoandinas. Éstas plantas son vitales para disminuir la erosión de los suelos, reteniendo nutrientes y sedimentos, además de producir oxígeno en gran cantidad. Durante la estación seca, descargan gradualmente el agua que almacenan durante la época de lluvias. Arriba de los bosques de *Polylepis*, en la cordillera, se hallan nevados, que asociados, constituyen las principales captaciones de agua destinados a la agricultura que se realiza en la parte baja del valle. A estos servicios ambientales que brinda, se le suma también que estos bosques se comportan como un almacén de carbono, en tal sentido, es evidente que esta es una razón más para recomendar su conservación (Urquiaga 2012).

El mismo autor señala, que estos bosques, están constituidos por árboles que tienen una extraordinaria adaptación al frío alto andino; su corteza se desprende formando un paquete alrededor del tronco a modo de aislante térmico para protegerlo contra las heladas.

Los queñoales se caracterizan por estar fragmentados en pequeños grupos, donde estas especies son dominantes o exclusivas, a excepción de aquellas plantas que habitan los bosques húmedos montanos (Kessler, citado por Urquiaga 2012). En la última revisión de este género se incluye aproximadamente 28 especies, constituidas de pequeños árboles y arbustos (Kessler 2006).

Según INRENA, citado por Urquiaga (2012), los bosques de *Polylepis* se encuentran dentro de los bosques productivos homogéneos, donde dominan especies del género *Polylepis*. En la antigüedad su extensión era mucho mayor a la actual, estudios refieren que en Perú se llegó a tener una extensión de 55 000 Km² de estos bosques, cifra que se ha reducido drásticamente debido al uso indiscriminado por bienes y servicios que ha aportado desde épocas ancestrales. En la actualidad se estima que subsisten alrededor de 700 a 1 200 Km² (Fjeldsa, citado por Urquiaga 2012). Por tanto, son claras las implicaciones de conservación de estos bosques que corresponde a un ecosistema frágil y que es vulnerable a la intervención antrópica, por ello es que está desapareciendo, por lo que es urgente implementar medidas de conservación (Urquiaga 2012).

Mansilla (s.f.), señala que los bosques de *Polylepis* se caracterizan por ser un sistema biológico con altos niveles de endemismo y por lo tanto de gran interés ecológico, sistemático y biogeográfico que ha sido relativamente poco estudiado, así por ejemplo se carece de datos, sobre el secuestro de carbono por estos bosques.

El mismo autor, menciona que estos bosques de *Polylepis* contribuyen al secuestro de CO₂, al almacenar carbono en los árboles (biomasa viva); pues este género tiene una maquinaria de asimilación de carbono, adaptada a las bajas temperaturas y estrés de agua, que se originan en su hábitat.

Por esta razón, Mansilla (s.f.), señala que es necesario incrementar y proteger la cobertura forestal con *Polylepis*, para purificar el aire, defender los suelos de la erosión así como regular el contenido de humedad, proteger la biodiversidad y generar en la población la posibilidad de emplear los variados productos del bosque para mejorar parte de su economía. Pues como se sabe, no se tienen muchos estudios sobre la biomasa de estos árboles, ni mucho menos sobre el valor económico de su función ecológica de secuestro de carbono.

2. DESCRIPCIÓN DE POLYLEPIS FLAVIPILA

2.1. TAXONOMÍA

Fue listado como variedad en Brako y Zarucchi (1993) y como sinónimo de *Polylepis besseri*. Mendoza y León (2006), reportan que *Polylepis flavipila* junto a otras tres especies de *Polylepis* son endémicas para el Perú.

- Subclase : Magnoliidae
- Orden : Rosales
- Familia : Rosaceae
- Sub-familia : Rosoideae
- Tribu : Sanguisorbeae
- Sub-tribu : Sanguisorbinae
- Género : Polylepis
- Especie : flavipila (Bitter) M. Kessler & Schmidt-Leb
- Nombre común : “Quinual”, “queñua”

2.2. DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE

Kessler *et al.* (2006) señalan que *Polylepis flavipila* se encuentra en la vertiente andina occidental del centro del Perú en los departamentos de Lima y Huancavelica. Se han registrado especímenes de esta especie en la provincia de Huarochirí, Cañete y Yauyos en el departamento de Lima y en la provincia de Castrovirreyna en el departamento de Huancavelica.

Por otro lado, Mendoza y León (2006), describen a *Polylepis flavipila* (Bitter) M. Kessler & Schmidt Leb. como una especie arbórea, reconocida de poblaciones limitadas a las partes más altas de la cordillera occidental, y que se encuentra en fragmentos de bosque fuertemente impactados por la tala para leña e incendios intencionales en los pajonales aledaños. Esta especie está representada en la Reserva Paisajística Nor Yauyos-Cochas. Las mayores poblaciones se concentran entre los 3 600 y los 3 800 msnm (Mendoza y Cano 2012).

Según Zutta *et al.* (2012), Mendoza y León (2006), *P. flavipila* se distribuye en la parte andina occidental del centro del Perú, en pendientes áridas y en altitudes de 3650-4100 msnm, en los departamentos de Huancavelica y Lima (Figura 1).



Figura 1: Distribución de *P. flavipila* en el Perú.

FUENTE: Mendoza y León (2006).

Las poblaciones más extensas fueron localizadas en Huansa, en el bosque de Japani (Huarochirí), sin embargo, en estos últimos años se ha incrementado la extracción masiva para leña por parte de los pobladores de Huansa, Carampoma y otras comunidades aledañas a este bosque; lo mismo puede estar ocurriendo con las poblaciones que se encuentran en Huancavelica (Mendoza y Cano 2012).

2.3. ESTADO DE CONSERVACIÓN

Según la UICN (2014), esta especie se encuentra en un estado de vulnerabilidad (VU). Se le encuentra únicamente en los andes peruanos (Mendoza y Cano 2011).

Debido a la mayor demanda de pastizales, la minería y la necesidad de combustible estos bosques se redujeron gravemente; a esta amenaza se suma el cambio climático que modifica las condiciones del medio donde se desarrollan estos bosques (Mendoza y Cano 2011).

2.4. DESCRIPCIÓN DENDROLÓGICA

Mendoza y Cano (2012), realizaron la siguiente descripción:

Árbol de 4 a 8 metros de altura, con abundante ritidoma marrón en todo el fuste y ramas, su descamación es en pequeñas piezas cuadrangulares.

Fuste irregular, fuertemente sinuoso, con ramificación simpodial, bien ramificada.

Vaina estipular con la superficie exterior densamente villosa.

Hojas compuestas imparipinnadas, agrupadas en el extremo de las ramas; peciolo de 1,5 a 2,0 cm de largo, ligeramente villosa; hojas de 2,5 – 6,0 x 2,0 – 3,5 cm, con 1 – (2) pares de foliolos, raquis ligeramente villosa, punto de unión de los foliolos con un mechón de pelos; foliolos obovados, (1,5)-2,9-2,5 x 0,4-1,4 cm, base acuminado, ápice acuminado, margen completamente crenado, fuertemente revoluto, envés densamente y con una capa moderada a densamente villosa, mezclado con tricomas glandulares amarillentos, haz ligeramente piloso a moderadamente villosa, con pelos glandulares marrones.

Inflorescencia colgante y en racimo simple de 3-8 cm de largo, con 5-8 flores; bráctea floral 4-10 mm de largo, marrón. Flor de 0,8-1,2 cm de diámetro; hipantio ligeramente villosa, con pequeñas espinas planas; sépalos 3-4 ovados marrones rojizos, exterior villosa especialmente cerca del ápice, interior villosa; antera 1-3 mm de largo, villosa; estilo fimbriado de 1-4 mm de largo, con un mechón de pelos seríceos en la base. Hipantio en fruto 0,6-0,9 x 0,4-0,8 cm incluyendo protuberancias, turbinado, ligeramente piloso con 3-4 protuberancias irregulares rojas usualmente con dos espinas.

Frutos pequeños, secos e irregulares.

Los componentes o partes de la especie se muestran en la Figura 2.

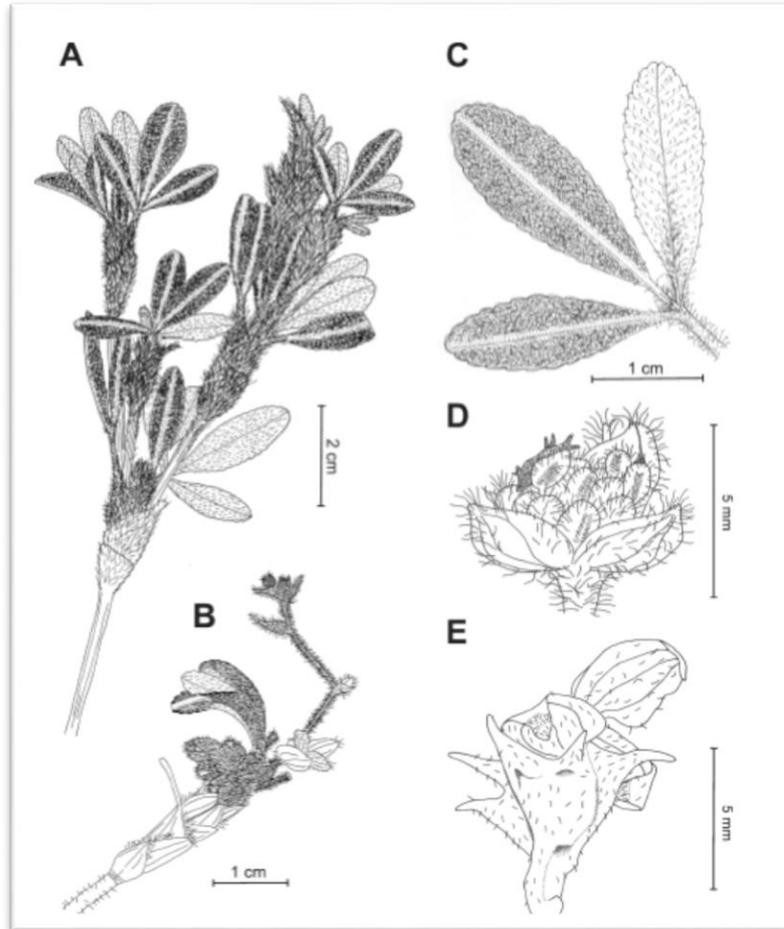


Figura 2: *Polylepis flavipila*. (A) hábito. (B) ápice – rama con inflorescencias jóvenes. (C) hoja; folios izquierda muestran superficie superior, folios derecha muestra la superficie inferior. (D) Flor. (E) fruto.

FUENTE: Kessler *et al.* (2006).

3. BIOMASA FORESTAL

3.1. DEFINICIÓN

El IPCC (2007), define biomasa como la masa total de organismos vivos presentes en un área o volumen dado. Se expresa mediante su peso en seco o mediante su contenido de energía, de carbono o de nitrógeno.

La biomasa forestal es la estimación de materia orgánica existente en determinado ecosistema forestal, tanto aérea como subterránea, normalmente es cuantificada en toneladas por hectárea de peso verde o seco (Schlegel *et al.* 2001).

Según el MINAM (2015), la forma clásica para determinar la biomasa de los árboles en el tronco, es a partir del cálculo del volumen maderable en pie y de la densidad básica de la madera, y la fórmula utilizada es la siguiente:

$$B = DB \times V$$

donde:

B = Biomasa o peso seco del material vivo en toneladas (t)

DB = densidad básica de la madera en g/cm^3 o t/m^3

V = volumen maderable del árbol en pie en m^3

Brown, citado por Álvarez (2008), señala que la cantidad de biomasa que una hectárea produce en un año es uno de los indicadores que se usan para medir la productividad de una comunidad vegetal y sirve también para estimar la cantidad de CO_2 que esta fija. Y que un primer paso para conocer la biomasa de una comunidad, es la determinación de modelos alométricos para la estimación de biomásas individuales de sus árboles.

La biomasa forestal se ha convertido en un importante elemento de estudio debido a que existe intereses industriales, energéticos y ambientales (juega un rol importante en el ciclo global de carbono) (Merino *et al.*, citado por Álvarez 2008). A partir de la biomasa forestal se puede calcular la concentración de carbono en la vegetación y por consiguiente se pueden hacer estimaciones sobre la cantidad de dióxido de carbono que ingresa a la atmósfera cada vez que se desmonta o se quema un bosque (Álvarez 2008).

Álvarez (2008), menciona que, en términos porcentuales, el fuste del árbol concentra la mayor cantidad de biomasa aérea, representando entre 55 y 77 por ciento del total; luego están las ramas con 5 a 37 por ciento.

3.2. MÉTODOS PARA DETERMINAR BIOMASA FORESTAL

Schlegel *et al.* (2001), señalan que dada la importancia en la obtención del potencial de captura de CO_2 por los bosques y plantaciones, como medio de mitigación del cambio climático, se hace necesario la búsqueda de diferentes métodos para estimar la biomasa, cuantificación que posteriormente servirá para evaluar la aplicación de los diferentes mecanismos de compensación o reducción de emisiones de CO_2 en la atmósfera.

Calderón y Lozada (2010), hacen referencia que los métodos para determinar biomasa están basados tanto en la formulación de modelos alométricos para cada especie, como en ecuaciones y sistemas computacionales basados en imágenes satelitales. Entre los métodos se tienen los siguientes:

3.2.1. MÉTODO DIRECTO

Llamado también destructivo, consiste en la extracción del árbol completo y la obtención de su peso total seco o biomasa, los cuales son necesarios para desarrollar ecuaciones de regresión. Los datos obtenidos son exactos, reales y adicionalmente, este método permite formular relaciones funcionales entre la biomasa y las variables, de fácil medición, como DAP, altura comercial, altura total, entre otras (Gayoso *et al.* 2005).

Debido a la variabilidad de la forma de los árboles y densidad de la madera, son necesarias ecuaciones independientes para cada especie, que deben ser desarrolladas para cada proyecto forestal en particular, considerando las variaciones de clima y suelo, que influyen sobre las características de crecimiento de los árboles (Reynolds *et al.*, citado por Calderón y Lozada 2010).

La desventaja de este método son los altos costos de aplicación, requiere mucho tiempo, dificultad en la extracción del componente subterráneo y la destrucción de una cantidad significativa de ejemplares. Sin embargo, es el más preciso para la estimación de biomasa aérea (Álvarez 2008).

3.2.2. MÉTODO INDIRECTO

Para estimar la biomasa a través del método indirecto se requieren ecuaciones y modelos matemáticos calculados por medio de análisis de regresión entre las variables colectadas en terreno y en inventarios forestales (Brown, citado por Calderón y Lozada 2010).

Según Schlegel *et al.* (2001), también se puede estimar la biomasa a través del volumen del fuste, utilizando la densidad básica de la madera y un factor de expansión para determinar el peso seco total con la siguiente ecuación general:

$$BA = VC * D * FEB$$

donde:

BA= Biomasa aérea (t/ha)

VC= Volumen comercial (m³)

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

FEB= Factor de expansión de la biomasa.

Condiciones:

Para aplicar esta fórmula es necesario primero determinar el volumen de madera existente por hectárea, el cual debe estar en función del DAP, de la altura del fuste y de la densidad forestal (ind/ha); segundo, estimar la biomasa del fuste, multiplicando la densidad de la madera (específica de cada especie) por el volumen; finalmente, obtener la biomasa total a partir de la biomasa de fustes, utilizando los factores de expansión (Schlegel *et al.* 2001).

Sin embargo, la ecuación para el factor de expansión no será lo suficientemente confiable debido a que la forma de los árboles es diversa y los volúmenes inventariados también son diferentes. Por tal razón, se recomienda que el FEB se derive localmente. Existiendo también un problema en el sistema radicular producto del volumen de raíces y sus características heterogéneas (Schlegel *et al.* 2001).

3.2.3. MODELOS ALOMÉTRICOS PARA LA ESTIMACIÓN DE BIOMASA

Schlegel *et al.* (2001), mencionan que los modelos alométricos son herramientas matemáticas que permiten obtener valores de producción de biomasa en función de variables, tales como el DAP y/o la altura total, variables que son de fácil medición en campo.

La medición de la cantidad de biomasa aérea en cualquier componente de un ecosistema requiere un análisis destructivo directo (Brown *et al.*, Acosta *et al.*, citados por Álvarez 2008) o estimaciones indirectas del material vegetal para hacer las inferencias respectivas; el segundo caso es más práctico cuando se desea estimar la biomasa aérea de los árboles. Para ello, se debe contar con modelos que estimen la biomasa total con base en el tamaño y dimensiones de los árboles; es decir, modelos matemáticos basados en las relaciones alométricas que ocurren entre los órganos de un individuo (Huxley; Acosta *et al.*, citados por Álvarez 2008). Estos modelos tienen mucha aplicación en el campo forestal, porque presentan mucha flexibilidad en su uso; las variables más usadas son: el diámetro a la altura del pecho (dap), diámetro a la altura del tocón (dat), altura comercial (hc), altura total (ht) y combinaciones de ellas (Prado *et al.*; Garcinuno; Gayoso *et al.*, citados por Álvarez 2008).

En la mayoría de los trabajos realizados en zonas tropicales se ha encontrado que la variable independiente que mejor explica la biomasa de un árbol es el DAP (Overman *et al.*, citado por Schlegel *et al.* 2001), al igual que en zonas templadas; muchos autores lo consideran por ser de fácil medición y además lo utilizan multiplicado por otras variables o expresando bajo algún tipo de transformación. Estas ecuaciones permiten la determinación de la producción de biomasa en sistemas forestales y agroforestales, y en plantaciones o bosques en sus fases de crecimiento y en cada componente (aéreo y subterráneo), así como su rendimiento económico (Chave *et al.*, citados por Schlegel *et al.* 2001).

Según Schlegel *et al.* (2001), la hipótesis de alometría sugiere, que existe proporcionalidad entre las tasas de crecimiento relativo de dos variables de tamaño, que pueden ser, el peso de diferentes secciones, o parte de un organismo, o una de sus dimensiones. Por la gran tendencia de la utilización de funciones logarítmicas para la estimación de biomasa, la ecuación que generalmente se usa es:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln(X) + \varepsilon_i$$

donde:

- Y : biomasa
- β_0 y β_1 : parámetros estimados
- X : variable independiente
- ε_i : término de error aleatorio

Según Mac Diken, citado por Larrea (2007), estos modelos pueden ser construidos usando como mínimo una muestra representativa de 30 árboles.

Conocer modelos específicos de las especies dominantes en los bosques facilita el estudio para proyectos de investigación ecológicos y de silvicultura, como inventarios detallados de biomasa y carbono almacenado en los árboles, así como para establecer la relación de la acumulación de la biomasa y su relación con las condiciones del medio (Rapp *et al.*, Wang, citados por Gómez *et al.* 2011).

Díaz *et al.* (2007), mencionan que las ecuaciones de biomasa mejoran su predicción cuando se consideran al mismo tiempo las variables diámetro y la altura, pero la medición de alturas

no se realiza en la práctica, debido a que toma mucho tiempo y en algunos bosques con coberturas cerradas no es fácil identificar la punta del árbol, sobre todo cuando las mediciones se hacen en forma indirecta. Ketterings, citado por Gómez *et al.* (2011), añade que la altura de los árboles al ser difícil de medir, puede no explicar más la varianza de un sitio donde se originaron los datos, pero su incorporación tiene la ventaja de incrementar el potencial de aplicabilidad de las ecuaciones generadas en otros sitios con características similares.

Por otra parte, Brown *et al.*, citados por Arreaga (2002), sostienen que las ecuaciones basadas en el DAP como única variable de entrada podría tender a sobreestimar los resultados comparados con la inclusión de la altura total (Ht) como segunda variable independiente. Sin embargo, los mismos autores, en su investigación, demostraron que no necesariamente se cumple esto en todos los casos, puesto que encontraron que en ecuaciones a partir de dap y altura total se presentaron mayores sobreestimaciones de biomasa respecto a ecuaciones que tuvieron como variable independiente solo al dap.

Ortiz, citado por Larrea (2007), recomienda construir gráficos de puntos entre la variable dependiente y cada una de las variables independientes, para probar cuales modelos o ecuaciones de regresión explican mejor esta relación. Después se debe aplicar un análisis de varianza y escoger el o los modelos de mejor ajuste con la ayuda de algunos estadígrafos.

Méndez *et al.* (2011), señalan que generar ecuaciones de biomasa es importante ya que permiten evaluar la estructura y condición de un 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. Los mismos autores, en su investigación, encontraron que entre el 60,2 y 58,4 por ciento de la biomasa aérea total fue registrada en el fuste del árbol.

Watzlawick *et al.*, citados por Álvarez (2008), señalan que de todas formas los modelos alométricos ayudan en el cálculo de la biomasa de grandes áreas forestales, valiéndose de la correlación existente entre las variables de difícil medición (pesos) y aquellas directamente medidas en inventarios forestales (diámetro a la altura del pecho y altura comercial o total). No obstante, su disponibilidad para maderables nativas es nula o muy reducida.

3.3. CONTENIDO DE CARBONO EN LA BIOMASA

Según el IPCC (1996), el rango más citado de contenido de carbono en la biomasa es de 43 a 58 por ciento, dependiendo de la estructura anatómica de la especie. Sin embargo, diferentes estudios denotan la variabilidad del contenido de carbono según especie y tejido del árbol.

En general, el contenido de carbono corresponde al 50 por ciento de la biomasa presente, constante que ha sido fundamentada en razón de que toda materia vegetal contiene en su estructura un 50 por ciento de carbono una vez que se ha removido el agua. Por tanto, para transformar los valores de biomasa en valores de carbono orgánico, se relaciona con una constante de 0,5 (IPCC 1996).

La conversión de carbono a CO₂ se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\text{CO}_2 = K_r * C$$

donde:

CO₂ = dióxido de carbono (kg)

C = carbono (kg)

K_r = 3,667 (relación de pesos moleculares de CO₂ y C)

4. LOS BOSQUES Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

El papel de los bosques en el cambio climático es fundamental, puesto que estos son considerados como los almacenes más importantes del mundo y son responsables de la mayor parte de los flujos de carbono entre la tierra y la atmósfera a través de la síntesis y la respiración. Aproximadamente el 90 por ciento de la biomasa acumulada en la tierra se encuentra en los bosques en forma de fustes, hojas, ramas, raíces y materia orgánica (Tipper 1998, citado por Urquiaga 2012). Estos son los que almacenan una gran cantidad de carbono en la vegetación como en los suelos y tienen un papel muy activo en el intercambio del CO₂ entre la biósfera y la atmósfera (Urquiaga 2012).

Durante los años 80, el análisis de las provisiones de C demostró que los bosques de los países templados y boreales constituían un sumidero neto de C atmosférico de unos 0,7 Pg

año-1, mientras los trópicos significaban un foco de emisión neta de alrededor de 1,6 Pg año-1 (Brown, citado por Álvarez 2008).

Es así que el secuestro de carbono se da por dos enfoques, el primero por medio de las áreas protegidas, donde existen ecosistemas boscosos que fijan carbono de manera constante o se mantienen por ser considerados intangibles, y un segundo por medio de la manipulación de los ecosistemas, a través de actividades de reforestación, plantaciones forestales, restauración ecológica y otros, que mejoren la capacidad de almacenaje de dicho elemento (USDOE 199, Citado por Urquiaga 2012).

El almacenamiento de carbono en árboles, es un servicio ambiental que valoriza la incorporación de especies arbóreas en sistemas agroforestales, y se suma así a posibles beneficios para el productor que adopta estos sistemas alternativos, beneficios hídricos en relación con el incremento productivo de pastizal y bosque, y beneficios al nivel de fijación de carbono por medio de “bonos verdes” o “de carbono” o su equivalente en impuestos, etc. (IPPC, citado por De Petre *et al.* s.f.). Si bien mediante el Mecanismo de Desarrollo Limpio, dentro del Protocolo de Kyoto, solo se consideran inversiones en proyectos de forestación, esto no resta validez a estudios realizados en bosques nativos, ya que es importante contar con información local e indicadores de las especies nativas para conocer el flujo de carbono en estos ecosistemas forestales, así como para futuros compromisos de reducción de CO₂ atmosférico (De Petre *et al.* s.f.).

Según AIDER (2015), los bosques son importantes para contribuir a la mitigación y adaptación ante el cambio climático. Perú ha avanzado más en desarrollar propuestas que contribuyan a la mitigación del cambio climático, estos proyectos también son llamados “Proyectos de carbono forestal”, debido a que involucran especies forestales para el secuestro y/o almacenamiento de carbono a manera de 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.

Justamente una de las modalidades de contribuir con la mitigación para el cambio climático es mantener almacenado el carbono existente en el bosque primario durante el periodo de compromiso que se adquiere, generando créditos de carbono por el servicio ecosistémico generado. Estos proyectos, al mitigar el cambio climático y generar co-beneficios sociales, económicos y ambientales para la población y comunidades locales, se convierten en proyectos de conservación y desarrollo humano, sentando bases sólidas para la sostenibilidad, los mismos que tienen que pasar por un proceso de pre-factibilidad, diseño de validación e implementación para llegar a concretar la emisión de créditos de carbono (AIDER 2015).

Por otra parte, Gayoso *et al.* (2001), también señalan que dentro de los proyectos forestales que se consideran para mitigar las concentraciones de carbono en la atmósfera se agrupan en tres tipos: (1) Proyectos de conservación de C, (2) Proyectos de captura de C y (3) Proyectos de sustitución de C. Los proyectos de conservación de C están orientados principalmente al control de las tasas de deforestación; el cual se logra mediante la protección de bosques, manejo mejorado y mediante el control de alteraciones como incendios. Los proyectos de captura de C, están orientados más a plantaciones mediante la forestación y reforestación; asimismo, contempla el enriquecimiento de bosques naturales y el manejo de productos. Los proyectos de sustitución de C, se relaciona fundamentalmente con la energía; la posibilidad estaría dada en cómo a través de las plantaciones específicas para bioenergía, se pudiesen reemplazar combustibles fósiles, el uso de aluminio, cemento y otros que consumen más energía en su elaboración.

En el Perú existen iniciativas de pago por servicios ambientales (PSA) en marcha para los servicios de regulación hídrica o captura de carbono. El MINAM utiliza la denominación de retribución por servicios ecosistémicos (RSE) en lugar de PSA. (AIDER 2013).

Actualmente se está desarrollando la iniciativa del gobierno del Perú, a través del MINAM, denominada Incubadora de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos con la colaboración de la Agencia Suiza para el desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Forest Trends, Ecodecisión y CONDESAN, cuyo objetivo es brindar asistencia técnica y financiera a los procesos de implementación de mecanismos para la conservación y/o recuperación de las fuentes proveedoras de servicios ecosistémicos – en una primera fase hídricos – contando para ello con una plataforma interinstitucional pública y privada (AIDER 2013).

5. ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL

El análisis de regresión lineal es una técnica estadística para investigar y modelar la relación entre variables. Son numerosas las aplicaciones de la regresión, y las hay casi en cualquier campo, incluyendo ingeniería, ciencias físicas y químicas, economía, administración, ciencias biológicas y las ciencias sociales. De hecho, puede ser que el análisis de regresión sea la técnica estadística más usada (Montgomery *et al.* 2006).

Chatterjee y Price (1977) afirman que esta técnica proporciona un método sencillo para el establecimiento de una relación funcional entre las variables. Las relaciones son expresadas en una ecuación, donde existe una variable dependiente (y) y una o más variables independientes ($x_1, x_2 \dots x_n$), que presentan la siguiente forma:

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

donde b_0 es el intercepto o constante del modelo, b_1 es la estimación de la pendiente en x_1 . El intercepto b_0 es el valor promedio de “ y ” cuando “ x ” es cero; b_i mide el cambio en el valor promedio de “ y ” como el resultado de un cambio unitario en “ x_i ”; “ e ” es el residual del modelo.

Una ecuación de regresión que contiene sólo una variable independiente se denomina ecuación de regresión simple, mientras que una ecuación que contiene más de una variable independiente se conoce como ecuación de regresión múltiple (Mendiburu, s.f.).

Alder (1980) manifiesta que el análisis de regresión lineal basado en el método de los mínimos cuadrados, es una técnica para ajustar ecuaciones predictivas a datos originales, que sigue el principio de minimizar la suma de los cuadrados de las desviaciones entre los puntos y una línea recta. Hanke y Wichern (2006) mencionan que el hecho de ajustar un modelo por mínimos cuadrados no completa el estudio de la regresión. Las inferencias se pueden hacer cuando los supuestos del modelo se cumplen de manera adecuada; por ello, es esencial verificar cuidadosamente los datos.

Philip (1994) señala que las principales suposiciones en las que se basa los mínimos cuadrados para estimar los parámetros de la regresión, son las siguientes:

- Las unidades muestrales (árboles) son seleccionados independientemente.
- Los parámetros medidos sobre cada árbol son independientes.

- La variancia del volumen o biomasa de los árboles es constante e independiente con respecto a las variancias de las variables explicativas.
- Además, en la estimación de los errores estándares y de los límites de confianza, se asume que:
 - Las mediciones son hechas sin error.

Las diferencias entre los volúmenes o biomásas estimados y los medidos son distribuidas normalmente con una media de cero y una variancia constante, estimada por el CME del análisis de variancia de la regresión.

Philip, Bouchon y Cunia, citados por Barrena (1988), indican que las poblaciones de árboles en bosques naturales no cumplen con estas hipótesis y acotan que la variancia 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. Así mismo, Chatterjee y Price (1977) observan que no se cumple con la hipótesis de homogeneidad de varianzas (homocedasticidad), ésta característica puede acarrear inferencias estadísticas erróneas.

Cailliez (1980) expresa que, en la elección del modelo de regresión, se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- La simplicidad del modelo (menor cantidad de coeficientes).
- Decidir si la regresión debe ser ponderada o no ponderada (se debe ponderar cuando la variancia del volumen o biomasa depende de las variables explicativas).

Barrena *et al.* (1986), mencionan que, para la elección de la mejor ecuación de volumen o biomasa, el criterio de elección debe hacerse lo más objetivamente posible. Para ello las ecuaciones deben clasificarse y analizarse en base a los siguientes criterios:

5.1. COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R²

Uriel (2013), expresa que 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. Hanke y Wichern (2006) mencionan que este valor es muy importante en cualquier análisis de regresión, ya que mide el porcentaje de variabilidad en “y” que puede

explicarse a través del conocimiento de la variable “x”; y además tiene la ventaja de ser muy útil y fácil de calcularlo, por lo que es una de las estadísticas más consultadas en el análisis de regresión.

Vélez (2003), menciona que los valores de R^2 se encuentran 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 ajuste perfecto. Por lo tanto, un R^2 cercano a 1 indica buen ajuste y un R^2 cercano a cero indica un mal ajuste.

Acuña (2013), manifiesta que un R^2 mayor a 0,70 indica una buena asociación lineal entre las variables. Además, Alvarado y Obagi (2008) recomiendan que el R^2 sea mayor a 0,64 para que la asociación entre las variables se considere aceptable. Los mismos autores, citados por Romero (2016), señalan que el mínimo valor del R^2 para aceptar una ecuación en el estudio de ciencias exactas es de 0,75.

5.2. PRUEBA FISHER (F)

Mendiburu (s.f.), menciona que la prueba de significancia de Fisher (F), permite determinar si la regresión lineal simple es o no globalmente significativa.

Vélez (2003), expresa que el valor de F es una comparación entre la variabilidad dada por el modelo y la variabilidad dada por los errores. Asimismo, Da Cunha y Guimaraes (2009) expresan que cuanto mayor es la variación explicada por el modelo y menor es la variación por el error, mayor será el valor de F indicando que el modelo tiene buen ajuste.

Mendiburu (s.f.), expresa que en la prueba estadística “F” se evalúan las siguientes hipótesis:

$H_0: \beta_1 = 0$. No existe una regresión lineal entre “x” e “y”.

$H_1: \beta_1 \neq 0$. Existe regresión lineal de “y” en función de “x”.

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

Uriel (2013), menciona que, con la utilización de ordenadores, el contraste de hipótesis puede contemplarse desde una perspectiva más racional. Así, los programas del ordenador suelen ofrecer, junto al estadístico F, un contraste de probabilidad. Esta probabilidad, a la

cual se le denomina p-valor o “p-value” también es conocida como nivel de significación crítico o exacto. Vélez (2003), señala que el p-valor es la probabilidad de que el valor de F ocurra por azar y no porque las variables están relacionadas linealmente entre sí.

5.3. PRUEBA T – STUDENT

En un análisis de regresión, se halla el intercepto y el coeficiente estimado. Vélez (2003), menciona que lo que interesa saber es si los coeficientes son estadísticamente diferentes de cero, y una manera de determinarlo es a través de del estadístico t- Student (t). Como nos interesa examinar la hipótesis de que el coeficiente es cero, el estadístico t evalúa las siguientes hipótesis:

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

$H_1: \beta_1 \neq 0$. 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.

Vélez (2003), menciona que también es importante evaluar el “p-valor” de este estadístico, ya que mide la probabilidad de que el valor obtenido para t ocurra por azar, dentro de una situación en la que al menos un coeficiente sea igual a cero. Asimismo, Uriel (2013), expresa que la determinación del p-valor es la operación inversa de encontrar el valor en las tablas estadísticas para un determinado nivel de significación. Por lo que, se debe proponer un nivel de significación (α) y una vez que el p-valor haya sido determinado, sabemos que se rechaza la H_0 cuando $\alpha > \text{p-valor}$; por el contrario, la H_0 no se rechaza cuando $\alpha < \text{p-valor}$.

5.4. ANÁLISIS DE RESIDUOS

Según Alder (1980), este procedimiento se realiza para juzgar la calidad de los análisis de regresión basados en el método de los mínimos cuadrados.

Escobar (2015), señala que los residuos, son en realidad las estimaciones de los valores de las perturbaciones aleatorias en cada observación. Mackay (1984), afirma que los primeros fundamentos sobre el método de los mínimos cuadrados están en la distribución de los residuos y en las propiedades elementales de la probabilidad compuesta, obteniendo de esta manera los mejores ajustes cuando el tipo de curva o función se ha elegido con acierto.

Montgomery (2006), menciona que los residuales deben ser graficado en función de los volúmenes y/o biomasa estimados y no de los volúmenes y/o biomasa reales, porque los residuos y los volúmenes (o biomasa) estimados no están correlacionados, mientras que los residuos y los volúmenes (o biomasa) reales sí suelen estar correlacionados.

5.5. ANÁLISIS DE REGRESIÓN PONDERADA

Cunia (1964), afirma que en la estimación de volúmenes (o biomasa) de árboles la homogeneidad de varianzas es la hipótesis más importante, pero como ya se ha mencionado, no se cumple. Para lograr la homogeneidad de varianzas es necesario transformar logarítmicamente las variables o ponderarlas, aplicando la regresión ponderada basada en los mínimos cuadrados ponderados.

Escobar (2015), señala que el criterio para la determinación de los factores de ponderación ($1/k$) se realiza en función a las variables independientes presentes en cada ecuación en particular, como pesos de la misma. Es decir, si la ecuación presentaba dos variables independientes, estas dos variables se tomaron como pesos, así como las mismas variables elevadas a diferentes exponentes.

Barrena (1988), menciona que el factor de ponderación puede cambiar de acuerdo a cómo el volumen y/o biomasa se relaciona con las variables independientes; debido a que la variabilidad de la variable dependiente depende de la variabilidad de las variables independientes, como: dap , $dcopa$ y h .

5.6. SELECCIÓN DE ECUACIONES

a. CME

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). El mismo autor indica que la mejor ecuación es aquella cuyo valor de CME es menor.

b. Índice de Furnival

El Índice de Furnival permite comparar ecuaciones teniendo la ventaja de reflejar la dimensión de los residuales y, además, las infracciones contra las condiciones de los mínimos cuadrados: linealidad, normalidad y homocedasticidad (Furnival, 1961).

Mediante este índice se compara ecuaciones de volumen y por ende de biomasa con diferente variable dependiente, en consecuencia, la ecuación que presente menor valor del Índice de Furnival será la mejor para estimar el volumen y/o biomasa (Barrena, 1988).

6. ESTUDIOS RELACIONADOS

Urquiaga (2012), muestreó un bosque mediante 12 parcelas de 100 m² de área (consideró árboles por encima de 10 cm de diámetro), en la que básicamente determinó la cantidad de carbono fijado, la cantidad total de biomasa, la fracción de carbono y generó modelos alométricos para *Polylepis* sp. En campo se tomó el diámetro a 1,3 m de la base del árbol y la altura total de cada individuo. Para la determinación de la densidad de la madera se tomó muestras de madera usando barreno Pressler. Asimismo, se determinó un coeficiente mórfico F, con el cual se pudo obtener el volumen real del árbol. Del mismo modo en laboratorio se determinó la densidad de la madera basándose en la norma de INDECOPI/NTP/251.008 y la fracción del carbono, este último se realizó por el método del dicromato de potasio. Como resultado obtuvo que en un área total de 36 ha de bosque de *Polylepis* se almacena: 5 207,59 m³ de madera, 3 507,31 t de biomasa y 1 812,11 t de carbono. Además, determinó que la fracción de carbono para *Polylepis* sp. es 51,67 por ciento y que su mejor ecuación fue **Carbón total = -8,35 + 0,858 Ln Altura (m) + 2,18 Ln diámetro (cm)**, con una correlación del 87 por ciento.

Calderón y Lozada (2010), usaron modelos alométricos para cuantificar la cantidad de biomasa (aérea y subterránea) y carbono fijado en siete plantaciones forestales de diferentes edades; utilizando el método directo o destructivo se muestrearon 104 individuos elegidos al azar (56 de *Polylepis incana* y 48 de *Polylepis reticulata*), en base a inventarios previos se determinó una densidad de 1000 ind/ha para todas las plantaciones. Se desarrolló una ecuación elométrica para cada especie y con ellas se estimó la biomasa total de los árboles. Las muestras extraídas (aéreo y subterráneo) fueron secadas y pesadas; a partir de las cuales se obtuvo valores de biomasa de cada individuo. Una vez obtenidos los datos de biomasa, altura, DAP y diámetros de copa para cada individuo, estos fueron analizados con el software estadístico EViews mediante el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios. Los valores obtenidos de humedad para *P. incana* y *P. reticulata* en su mayoría fueron superiores a 50 por ciento. El carbono encontrado en plantaciones fue de 0,0879 t/ha a los 2 años, 0,281 t/ha a los 4 años, 10,89 t/ha a los 8 años y 20,55 t/ha a los 17 años de edad en la especie *P. incana* y 0,00869 t/ha a los 2 años, 0,0592 t/ha a los 4 años y 9,18 t/ha a los 8

años de edad en la especie *P. reticulata*. Los mismos autores señalan que con *Polylepis incana* se puede capturar carbono desde 45,05 t/ha para 6 años de edad, y hasta 182,8 t/ha para un bosque maduro. Pues estos valores a pesar de ser bajos al compararse con la cantidad de carbono que se capturar con plantaciones de otras especies, tales como el *Eucaliptus globulus*, en la que se han registrado 333,34 t de carbono por ha en una plantación de 35 años; constituye una oportunidad para las comunidades andinas, puesto que éstas tienen gran disponibilidad de tierras con aptitud forestal.

Mansilla (s.f.), determina que para *Polylepis* sp. la cantidad de biomasa (fuste y ramas) se estima en 4,37 t de biomasa seca/ha y el carbono almacenado se estima en 3,55 tC/ha. Esta investigación constó de dos fases: inventario forestal y el trabajo de laboratorio. En el primer caso, se recopilaron datos dasométricos (DAP, alturas total y comercial, volumen comercial de árboles con DAP > 5 cm; volumen de ramas con diámetro mayor a 4 cm) y biomasa. Para lo que se identificaron al azar 15 parcelas de 10 m x 10 m dentro de 10 rodales. En el segundo caso, el trabajo de laboratorio ha servido para obtener los valores de la gravedad específica y la fracción de carbono, siguiendo la metodología utilizada por Segura (1999), con las cuales a partir de fórmulas se determinó la cantidad de biomasa y cantidad de carbono almacenado en el fuste y ramas. Como parte del resultado se obtuvo: gravedad específica del fuste 0,6398 t/m³, gravedad específica de las ramas 0,6297 t/m³; fracción de carbono del fuste 46,3 % y de las ramas 46,39%.

Siltanen *et al.* citados por Mansilla (s.f.), estimaron la biomasa para bosques heterogéneos de *Polylepis* spp., en el departamento de Puno, cuyos resultados muestran que la biomasa total varía entre parcelas de 6,3 t/ha a 101,2 t/ha.

Para el Cusco, Olazabal, citado por Mansilla (s.f.), realiza un inventario de *Polylepis* en Queuña Qocha, sin precisión del área del bosque, donde encuentra individuos con clases diamétricas y alturas menores, debido a la extracción selectiva de árboles para leña, y estima un volumen de 2755,70 m³/ha para un área de bosque de 25 ha.

Aguilar (1998), realiza un inventario en el bosque Mantamay donde estima un volumen de madera de 273,70 m³/ha y que extrapolado para el bosque total (201 ha) calcula un volumen de 55 021,70 m³ de madera; señala también que la capacidad de regeneración del bosque se debe a la presencia de gran número de individuos de *Polylepis* en estadios de plantines y

plántulas al interior del bosque. Este autor al igual que Mansilla (s.f.) hace uso del método indirecto no destructivo.

Según Deza *et al.* (2010), la biomasa aérea total en Megagramos (Mg) por hectárea en un bosque de *Polylepis multijuga*, fue de 320,63; de los cuales 310,04 Mg/ha corresponden al estrato arbóreo. Los mismos autores señalan que la biomasa total encontrada para este bosque, es muy alta comparada con otros bosques naturales ubicados a menor altitud; pues consideran que esta especie al ser considerada como la más primigenia y menos adaptada a grandes altitudes en comparación a otras de su género, se hallan bien desarrollados a 3 200 msnm y las condiciones de sitio, como la abundancia y constante humedad del año, también influyen en este resultado. Sin embargo, se debe considerar que este resultado incluye la biomasa contenida en ramillas y hojas; 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. Se usó el método directo no extractivo para calcular el carbono contenido en la biomasa aérea, en el que no se necesita pesar todo el árbol, sino que se corta una muestra representativa de la copa y una pequeña muestra del fuste para después extrapolarla a todo el árbol. Para establecer una ecuación regresional se usó el programa PASW Statistics. Finalmente, el contenido de C y CO₂ en la biomasa se calculó asumiendo que la fracción de carbono en la biomasa es 0,5 y que el carbono es equivalente a 3,66 veces el CO₂ capturado.

Pérez y Díaz (2010), estimaron la biomasa forestal aérea de dos bosques andinos basados en ecuaciones alométricas de biomasa en función del diámetro a la altura del pecho (DAP), mediante la implementación de un muestreo indirecto, a partir de la cubicación en pie del árbol con base en medidas euclidianas, proyección de las ramas mediante la construcción y validación de un modelo de autosemejanza, y el cálculo de densidades para las principales especies de los bosques teniendo en cuenta el Índice de Valor de Importancia (IVI). Se obtuvieron 20 ecuaciones de la forma $Y = aX^b$ (p-valor > 0,05 y R² > 70 por ciento) encontrándose que la biomasa fustal es en promedio 103,217 t/ha para el bosque dominado por *Quercus humboldtii* y 113,036 t/ha para el bosque dominado por *Weinmannia tomentosa*. Consideran que sus resultados obtenidos constituyen un importante aporte metodológico para las estimaciones de captura de CO₂ en zonas destinadas a la conservación, y constituye una herramienta para valorar la función de captura de CO₂ por bosques andinos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO

1.1. UBICACIÓN

El bosque de *Polylepis* “Japani” pertenece a la Comunidad Campesina Santiago de Carampoma, se encuentra en el distrito Carampoma, provincia Huarochirí, departamento de Lima; abarca la microcuenca del río Suncha, tributario del río Santa Eulalia entre los 3 800 y 4 600 msnm. Y abarca un área de 665 ha en total (Ñingle y Florencio 2013).

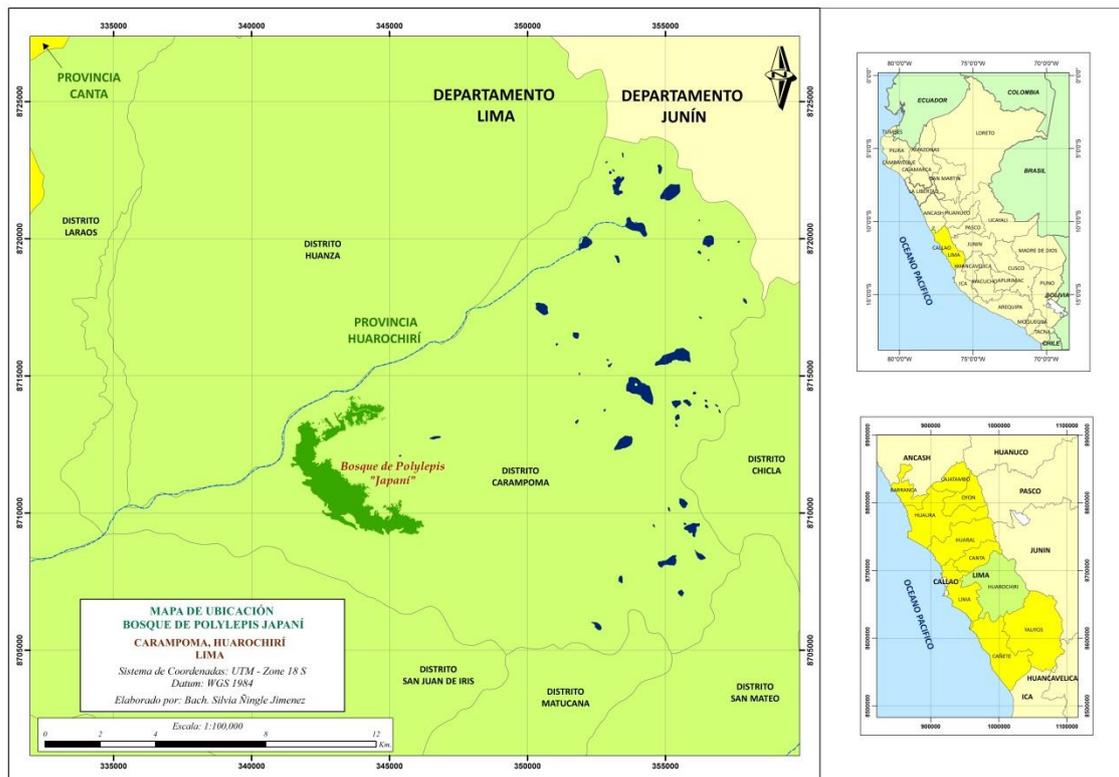


Figura 3: Mapa de ubicación del área de estudio.

FUENTE: Ñingle y Florencio 2013.

1.2. ECOSISTEMAS

En el expediente técnico para la creación del Área de Conservación Privada (ACP) “Japani”, Sembrero y Valencia (2016), indican que el área alberga varios tipos de ecosistemas, tales

como: bosque altoandino de la puna húmeda, humedal altoandino, pajonales y matorrales altimontanos de la puna húmeda. “De estos ecosistemas, el bosque altoandino de la puna húmeda es el que cubre casi la totalidad del bosque de Japaní, en donde se encuentran principalmente la especie *Polylepis flavipila*” (Sembrero y Valencia 2016).

El bosque comprende dos zonas de vida: páramo húmedo Subalpino Tropical (ph – ST) y bosque húmedo Montano Tropical (bh – MT) (Ñingle y Florencio 2013).

1.3. ACCESIBILIDAD

Desde la ciudad de Lima, se cuenta con una vía de acceso directo al distrito de Carampoma. Siguiendo el recorrido Lima – Chosica – Santa Eulalia – San José de Palle – Huinco - San Pedro de Casta- Autisha- Sheque y Carampoma. De Chosica (kilómetro 38 de la Carretera Central), se inicia la carretera LM 116 que sigue al río Santa Eulalia hasta sus inicios que pasa por los pueblos mencionados de Santa Eulalia, Palle y Huinco. Teniendo en cuenta no cruzar el puente Autisha (que lleva a San Pedro de Casta), continuando paralelo al río hasta llegar a una laguna (represa) llamada Sheque donde se encuentra el desvío hacia los pueblos de Huanza, Carampona y Laraos.

El recorrido cuenta con pista asfaltada hasta Palle, donde inicia una trocha en buen estado, pero cuya transitabilidad en época de lluvia (noviembre – marzo), es relativamente más difícil, debido a los deslizamientos de las partes altas y enlodamiento de la carretera.

El tiempo aproximado desde Lima hasta Carampoma es de cinco horas con un recorrido aproximado de 80 km, y hasta el bosque Japaní el tiempo promedio desde Carampoma es de tres horas caminando.

1.4. HIDROLOGÍA

Las quebradas: Yanac, Jonqui, Huingo, Hullpo y Suncha atraviesan el bosque de queñuales. También se cuenta con manantiales ubicados en varios lugares del bosque de queñuales (Sembrero y Valencia 2016).

1.5. FLORA

En una evaluación ecológica rápida en el bosque de queñuales se encontraron 28 familias, de las cuales las más abundantes son las asteráceas con 18 especies y la única especie arbórea es *Polylepis flavipila* (Figura 4).



Figura 4: Árbol de *Polylepis flavipila* en el bosque Japoní.

FUENTE: Elaboración propia.

En la Tabla 1 se puede observar las especies encontradas en el bosque (Sembrero y Valencia 2016).

Tabla 1: Lista de especies vegetales encontradas en el bosque Japoní

Familia	Género	Especie
ALSTROMERIACEAE	<i>Bomarea</i>	sp.
ASTERACEAE	<i>Aristeguietia</i>	<i>discolor</i>
	<i>Baccharis</i>	<i>caespitosa</i>
	<i>Baccharis</i>	<i>tricuneata</i>
	<i>Baccharis</i>	<i>genistelloides</i>
	<i>Chuquiraga</i>	<i>spinosa</i>
	<i>Ageratina</i>	<i>sternbergiana</i>
	<i>Gynosis</i>	<i>nitida</i>
	<i>Hypochaeris</i>	sp.
	<i>Mutisia matewsii</i>	<i>matewsii</i>
	<i>Perezia</i>	sp.
	<i>Senecio</i>	<i>condimentarius</i>
	<i>Sonchus</i>	<i>oleraceus</i>
	<i>Tagetes</i>	<i>pusilla</i>
	<i>Werneria</i>	<i>nubigena</i>
BRASSICACEAE	<i>Lepidium</i>	sp.
	<i>Sisymbrium</i>	sp.
CARYOPHYLLACEAE	<i>Stellaria</i>	sp.
FABACEAE	<i>Astragalus</i>	<i>garbancillo</i>

Continuación:

Familia	Género	Especie
FABACEAE	<i>Lupinus</i>	sp.
	<i>Lupinus</i>	<i>ballianus</i>
	<i>Vicia</i>	<i>andicola</i>
GENTIANACEAE	<i>Helenia</i>	sp.
GERANIACEAE	<i>Erodium</i>	sp.
	<i>Geranium</i>	sp.
GROSSULARIACEAE	<i>Ribes</i>	<i>brachybotrys</i>
IRIDACEAE	<i>Sisyrinchium</i>	sp.
LAMIACEAE	<i>Stachys</i>	<i>arvensis</i>
LOASACEAE	<i>Caiophora</i>	<i>cirsiifolia</i>
	<i>Loasa</i>	<i>grandiflora</i>
LORANTHACEAE	<i>Tristerix</i>	sp.
PASSIFLORACEAE	<i>Passiflora</i>	<i>trifoliata</i>
POLYGONACEAE	<i>Muehlenbeckia</i>	<i>volcanica</i>
RANUNCULACEAE	<i>Clematis</i>	<i>dioica</i>
	<i>Clematis</i>	sp.
	<i>Ranunculus</i>	sp.
ROSACEAE	<i>Polylepis</i>	<i>flavipila</i>
SCROPHULARIACEAE	<i>Bartsia</i>	<i>canescens</i>
	<i>Oenothera</i>	sp.
	<i>Veronica</i>	<i>arvensis</i>
SOLANACEAE	<i>Solanum</i>	sp.
	<i>Salpichroa</i>	<i>glandulosa</i>
	<i>Solanun</i>	<i>nitidum</i>
TILIACEAE	<i>Vallea</i>	<i>stipularis</i>
URTICACEAE	<i>Urtica</i>	<i>magellanica</i>

FUENTE: Sembrero y Valencia (2016).

1.6. FAUNA

El bosque Japaní alberga una gran diversidad de fauna, destacando la presencia de aves. Se han reportado un total de 74 especies de aves en el bosque y los bofedales. De estas especies, *Oreotrochilus melanogaster* y *Ochthoeca oenanthoides* tienen un gran interés de conservación por ser endémicas y encontrarse dentro de la categoría de Casi Amenazada en la lista de la UICN (2016). Asimismo, *Oreomanes fraseri*, que, a pesar de no tener el mismo estatus de amenaza, podría volverse vulnerable en el futuro dada la dependencia de esta especie con los árboles de queñuales (Sembrero y Valencia 2016).

En la zona, se encuentra también una variedad de mamíferos, entre ellos: la “vizcacha” *Lagidium peruanum* y el “zorro colorado” *Lycalopex culpaeus*” (Sembrero y Valencia 2016).

2. MATERIALES Y EQUIPOS

2.1. TRABAJO DE CAMPO

- 01 brújula Suunto modelo KB-14
- 01 Hipsómetro Suunto
- 01 Clinómetro Suunto
- 01 GPS Etrex Vista
- 01 GPSmap 62s
- 01 Cámara digital 10,1 Vivitar
- 01 Motosierra STIHL M8 041
- 01 Rejoj de mano
- 03 Cinta métrica de 1,5 m
- 01 Cinta diamétrica
- 01 Wincha de 50 m con 0,5 de precisión
- 250 Formatos de evaluación
- 01 Mapa base del bosque
- 01 Tablero porta hojas
- 08 Pilas AA
- 01 Plumón indeleble
- 01 Rollo de cinta *flagging*

- 01 Paquete de Bolsas *ziplock*
- 02 Varillas de aluminio de 1,5 m
- 04 Lápices Mongol
- 02 Borradores
- 02 Tajadores
- 01 Libreta de campo
- 02 Costales
- 01 botiquín de primeros auxilios

2.2. TRABAJO DE LABORATORIO

- 01 cortadora de madera
- 01 Horno de secado
- 01 Desecador
- 01 Balanza analítica
- 01 Tijera metálica para coger secciones de rodaja de madera
- 01 Soporte universal
- 01 Recipiente con agua
- 01 Punzón
- 01 Martillo
- 01 Formato de evaluación
- 01 Plumón indeleble
- 01 Regla
- 01 lapicero

2.3. TRABAJO DE GABINETE

- Se utilizó material de escritorio, una Laptop Toshiba con Windows vista y los programas de Microsoft Excel, ArcGis 10.2 y Microsoft Word para el procesamiento de datos y redacción.
- 01 millar de papel A4 para la impresión.

3. METODOLOGÍA

3.1. FASE DE PLANIFICACIÓN

3.1.1. TAMAÑO DE MUESTRA

Tomando en cuenta que en bosques homogéneos lo mínimo a evaluar es 30 árboles (MacDiken, citado por Andrade e Ibrahim 2003), se consideró un tamaño de muestra de 45 árboles distribuidos en toda el área del bosque para minimizar posibles sesgos.

3.1.2. ESTRATIFICACIÓN DEL BOSQUE

Se realizó una estratificación del bosque en base a mapas temáticos de la zona y a la hoja 24 k de la Carta nacional (IGN 2005). Para esto se utilizó el programa ArcGis 10.2, en la que a través de un modelo vectorial TIN y un DEM se generó pendientes; para lo cual desde ArcMap se cargó el archivo curvas.shp de la hoja 24 k, se comprobó en la tabla de atributos el campo correspondiente a la altitud (cota) para luego crear un TIN desde *ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Data Management > TIN > Create TIN*. El modelo TIN se convirtió a ráster mediante las herramientas *ArcToolbox > 3D Analyst: TIN to Raster (en atributo se seleccionó Slope as percentage)*, se reclasificó la capa en *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify* en la que se seleccionó tres rangos de las pendientes en porcentaje, las que finalmente fueron sombreadas mediante la herramienta Hillshade (*Spatial Analyst Tools > Surface > Hillshade*).

Una vez reclasificada la capa anterior, ésta se superpuso con el shape del límite del bosque (obtenidos al finalizar el curso de SIG en la Facultad de Ciencias Forestales - UNALM), para dividirlo en tres zonas (zona de pendiente baja, media y alta) las cuales fueron diferenciadas por colores. Esta división del bosque en zonas fue únicamente para la distribución de la muestra.

3.1.3. DISTRIBUCIÓN DE LA MUESTRA

De acuerdo a la estratificación mencionada anteriormente, se identificó aleatoriamente 15 árboles en la zona de pendiente baja, 15 árboles en la zona de pendiente media y 15 árboles en la zona de pendiente alta; de tal manera, que éstas se encontraron distribuidas en toda el área. Los árboles fueron representados por “puntos” para su elección en cada zona.

3.1.4. IDENTIFICACIÓN DE COORDENADAS UTM DE LOS ÁRBOLES A EVALUAR

Con ayuda del programa ArcGis 10.2, se generaron coordenadas UTM de cada unidad muestral. Para lo cual, el shapefile del límite del bosque se definió a un sistema de referencia de “puntos”, se verificó la tabla de atributos en la que se crearon tres campos (tres columnas) para las coordenadas Este y Norte y para el número de árbol; luego se usaron las herramientas *ArcToolBox > Data Management Tools > Features > Add XY Coordinates* y finalmente se verificó la tabla de atributos de la capa de puntos con las coordenadas generadas para cada uno de los 45 árboles.

En base a la capa de estratificación del bosque, el shape del límite del bosque, la identificación de los árboles con sus respectivas coordenadas UTM, se realizó un mapa base de ubicación de los árboles a evaluar en el bosque, lo que facilitó la elección y marcado de los árboles una vez en campo.

3.2. FASE DE CAMPO

3.2.1. PRESENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN A LA COMUNIDAD

En una asamblea comunal se dio a conocer, de manera general, la investigación propuesta en el bosque Japaní, en el cual se llegó a acuerdos para llevar a cabo el proyecto y para presentar una copia de la tesis al finalizar la investigación.

Principalmente se coordinó con el Sr. Benturo Villarroel Carlos, presidente del Comité de Ecoturismo de la Comunidad, para las cuatro salidas y evaluaciones de campo posteriores.

3.2.2. TRASLADO DESDE LA COMUNIDAD HASTA EL BOSQUE

En la comunidad se contrató el servicio de alquiler de una camioneta, de acémilas y de un arriero. El traslado desde la comunidad hasta Pariachaca, que es la entrada hacia el bosque, fue de 20 minutos en camioneta. Desde Pariachaca hasta llegar al bosque fue 1,5 horas caminando cuesta arriba, en este trayecto se hizo uso de las acémilas y arriero para transportar los materiales de trabajo, víveres, ropa de abrigo, etc.

El servicio de alquiler de camioneta y de las acémilas y arriero fue tanto para la ida al bosque y para la vuelta a la comunidad, para lo cual se les indicó el día, hora y punto de encuentro para el regreso del bosque hacia la comunidad.

3.2.3. MARCADO DE ÁRBOLES A EVALUAR

El marcado de los árboles se llevó a cabo en la primera salida de campo, en el que se contó con el apoyo de un guía de la comunidad. Se consideró individuos mayores a 10 cm de diámetro a 1,3 m desde el nivel del suelo ($d_{1,3}$). Principalmente debido al paisaje y accesibilidad que presenta el bosque, este se recorrió a pie durante dos días siguiendo los senderos y las quebradas Huingo, Jonqui y Pumash para marcar todos los árboles.

De los 45 árboles preliminares, solo 42 árboles fueron marcados con cinta *flagging* de color rojo, y con un GPS (datum WGS 84) se tomaron sus coordenadas UTM.

Con estas nuevas coordenadas UTM de los 42 árboles definitivos que fueron marcados se realizó un mapa de ubicación de estos árboles marcados.

3.2.4. MEDICIÓN DE ÁRBOLES

- La medición de los árboles se llevó a cabo en tres salidas de campo, cada salida de campo fue de una semana y para cada una de ellas se contó con el apoyo de una persona y de un guía de la comunidad.
- Las mediciones se realizaron en árboles en pie, sin cortar o extraerlos.
- Para tener una mejor visualización de la ramificación y secciones de fuste y ramas del árbol, se dibujó a mano alzada el perfil de cada árbol (Figura 5).
- Se hizo uso del formato de evaluación que se presenta en el anexo 1.
- Con una cinta diamétrica se midieron los diámetros del fuste siguiendo la forma que presentó cada árbol, las mediciones se realizaron sección por sección de tal manera de aproximarse a la sección de un cilindro. Para ello se comenzó a medir el primer diámetro a partir de la base del árbol, se continuó midiendo las secciones de los fustes principales y luego de las ramas laterales (mayores o iguales a tres centímetros de diámetro), como se observa en la Figura 5. Asimismo, se tomó el $d_{1,3}$ (diámetro medido a 1,3 m a partir del nivel del suelo). Las mediciones de los diámetros fue sin considerar el ritidoma que presentan los árboles de *Polylepis*.

- Con una cinta métrica, se midieron las longitudes de cada sección del fuste y ramas que se fueron definiendo según el orden de la toma de medida de los diámetros. Para medir las longitudes y diámetros de las ramas altas se hizo uso de una varilla de aluminio de 1,5 m de longitud, la cual fue marcada con un plumón indeleble indicando varias mediciones de referencia.

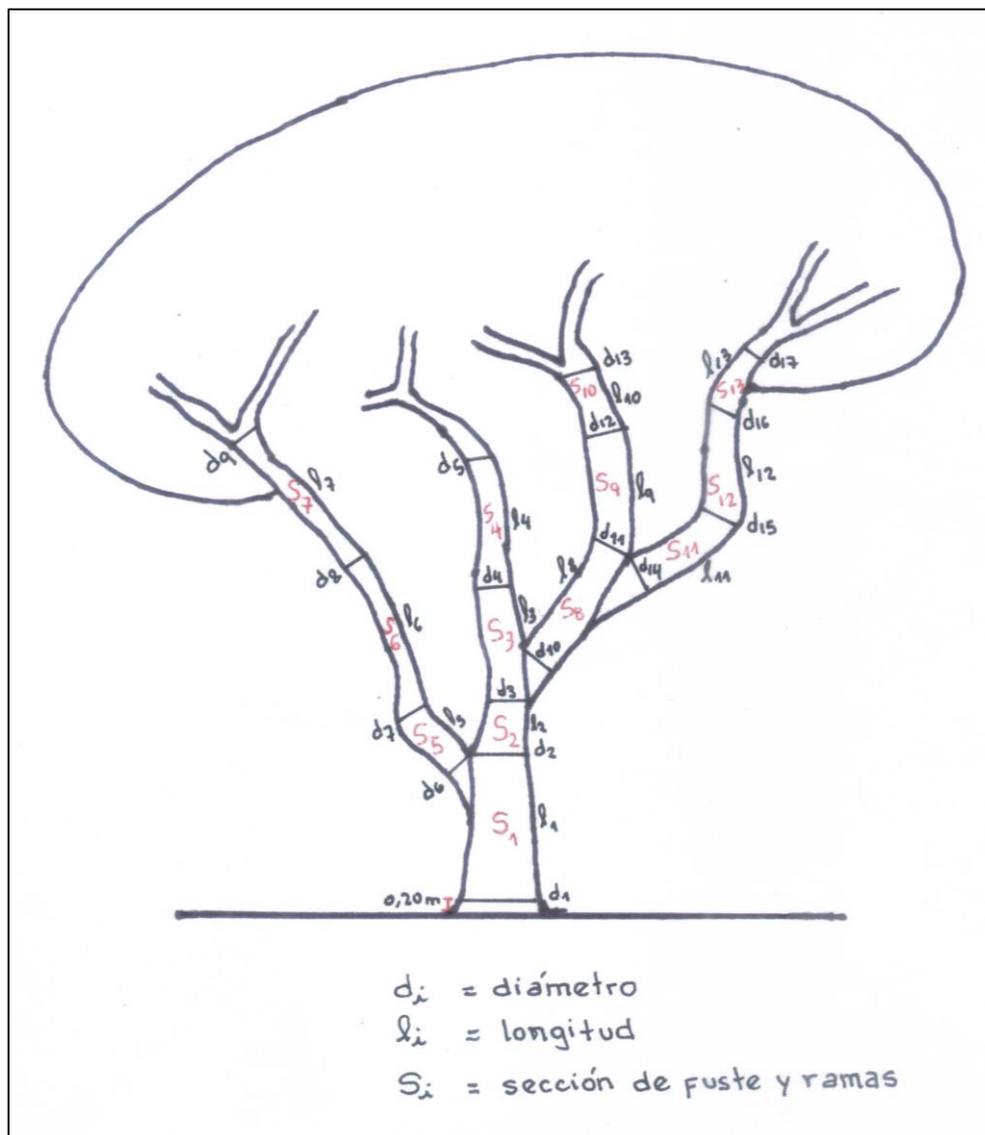


Figura 5: Secciones formadas para la toma de medidas en *P. flavipila*.

FUENTE: Elaboración propia.

- Asimismo, se midieron la altura al punto de copa y altura total con el hipsómetro y clinómetro Suunto a una distancia mínima de 5 y 10 m.
- Finalmente, con una wincha métrica y con ayuda de una brújula Suunto se tomó mediciones de los radios de copa considerando los diámetros perpendiculares con

proyecciones visuales de la copa en el suelo y de acuerdo a la orientación norte –sur y este – oeste. La orientación norte – sur se consideró como el eje “Y” y la orientación este – oeste, como el eje “X”.

3.2.5. EXTRACCIÓN DE RODAJAS DE MADERA PARA DETERMINAR DENSIDAD

- Se eligieron tres árboles ubicados alrededor o cercano al bosque, de cada uno de estos árboles se extrajeron seis rodajas de madera: tres rodajas de la parte del fuste y tres rodajas de la parte de las ramas gruesas.
- Para un mejor orden cada rodaja fue codificada con un plumón indeleble: árbol 1 (1Fa, 1Fb, 1Fc, 1Ra, 1Rb, 1Rc); árbol 2 (2Fa, 2Fb, 2Fc, 2Ra, 2Rb, 2Rc) y árbol 3 (3Fa, 3Fb, 3Fc, 3Ra, 3Rb, 3Rc). “F” representa a rodajas extraídas del fuste, “R”, a las rodajas extraídas de las ramas y “a, b y c” a la cantidad de rodajas. Sumando un total de 18 discos o rodajas de madera.

3.2.6. TRASLADO DE LAS RODAJAS DE MADERA

Las rodajas de madera fueron depositadas en dos costales pequeños, los cuales fueron trasladados del bosque hasta la carretera en acémilas y luego en camioneta hasta la comunidad de Carampoma, en las que por cinco horas permanecieron en los respectivos costales cerrados en las instalaciones de la municipalidad. Luego con el bus de transporte público fue trasladado primero a Chosica y después a la ciudad de Lima.

3.2.7. ACONDICIONAMIENTO DE LAS RODAJAS DE MADERA

En la ciudad de Lima, las rodajas de madera permanecieron durante dos días en una casa, para mantener la humedad de éstas fueron colocadas en un recipiente que contenía agua en la base; se adecuó con unos tacos de madera de tal manera que las rodajas no estén en contacto con el agua y se taparon todos con un plástico.

Al cabo de los dos días, las rodajas de madera otra vez fueron depositadas en los costales, los cuales, en un taxi fueron llevados a la UNALM y se depositaron en el laboratorio de Propiedades Físicas y Mecánicas de Madera de la Facultad de Ciencias Forestales.

3.3. FASE DE LABORATORIO

3.3.1. PREPARACIÓN DE LAS SECCIONES DE RODAJA DE MADERA

Se marcaron con una plantilla preparada y se codificaron cada una de las secciones en las rodajas de madera.

Luego, con el apoyo del Sr. Vicente Cuba, Técnico del laboratorio de Propiedades Físico Mecánicas de la UNALM, se mandó a seccionar radialmente con una cortadora cada una de las rodajas de madera en seis partes o secciones de similar área; tal como se indica en la Norma ASTM D 1036 – 99 (USA, 2005). Para mantener el orden a cada una de las secciones se les puso en mismo código que tenía originalmente y se enumeró como un subíndice del 01 al 06.

3.3.2. PESADO DE LAS SECCIONES DE RODAJA DE MADERA

Cada una de las secciones de rodaja de madera aún húmedas fue pesada con una balanza de precisión $\pm 0,01$ g en el laboratorio.

3.3.3. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CADA SECCIÓN DE RODAJA DE MADERA

Primero se obtuvo el peso en gramos de cada sección de madera, para lo cual se preparó un recipiente que contenía agua, se taró en la balanza y luego cada sección de madera con el apoyo de un punzón y de un soporte universal fue sumergida en el recipiente con agua y se obtuvo el peso de cada sección de madera.

Luego los pesos de las secciones de madera se llevaron a volúmenes (cm^3) por medio del valor de la densidad del agua ($1\text{g}/\text{cm}^3$).

3.3.4. SECADO DE LAS SECCIONES DE RODAJA DE MADERA

Cada sección de rodaja de madera fue secada al horno bien ventilado a una temperatura de $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.

Cada sección de madera luego de retirarlas del horno con ayuda de una pinza o tijera metálica, se dejó enfriar durante 10 minutos en un desecador con material higroscópico (CaCl_2 o P_2O_5) para evitar la absorción de la humedad del ambiente; luego se obtuvo el peso de las secciones de rodaja de madera mediante una balanza analítica.

Para determinar si cada sección de rodaja de madera ya estaba seca, estos se pesaron dos veces por día (mañana y tarde) hasta que se consiguieron pesos constantes.

3.4. FASE DE GABINETE

3.4.1. INGRESO Y VERIFICACIÓN DE LOS DATOS

Todos los datos registrados en los formatos de campo se organizaron en hojas de cálculo de Excel, el ingreso de estos datos se realizó dos veces para cerciorarse de que no haya errores en digitar correctamente los datos; tal como lo sugieren Picard *et al.* (2012).

3.4.2. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE CADA ÁRBOL

Para el cálculo del volumen del fuste y ramas de los árboles evaluados se utilizó la fórmula de Smalian (Cailliez 1980).

$$V (m^3) = \pi/8 * (d_1^2 + d_2^2) * L$$

donde:

V = Volumen en metros cúbicos.

L = Longitud de la sección en metros.

d₁ = Diámetro mayor de la sección en metros.

d₂ = Diámetro menor de la sección en metros.

3.4.3. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y DE LA DENSIDAD BÁSICA DE LA MADERA

Para el Contenido de Humedad (CH) de la madera se utilizó la siguiente fórmula (Arroyo 1983):

$$CH\% = \frac{Pv - Psh}{Psh} * 100$$

donde:

CH% = contenido de humedad en porcentaje

Pv = Peso con humedad de la madera o peso verde

Psh = Peso seco al horno de la misma madera

Para el cálculo de la densidad básica de la madera (g/m³) se utilizó la siguiente fórmula (Davel *et al.* 2005):

$$DB = PSH/Vv$$

donde:

DB = Densidad básica de la madera (g/cm^3)

PSH = Peso seco al horno (g)

Vv = Volumen de la madera en estado verde (cm^3)

3.4.4. CÁLCULO DE LA BIOMASA DE CADA ÁRBOL

Una vez calculado el volumen y obtenido la densidad básica de la madera, se determinó la cantidad de biomasa mediante la siguiente fórmula (MINAM 2015).

$$B = V * DB$$

donde:

B = Biomasa (t)

V = Volumen (m^3)

DB = Densidad básica (g/cm^3 o t/m^3)

3.4.5. ANÁLISIS DE DATOS

Se realizaron graficas de dispersión, donde en el eje de las ordenadas (y) se colocó la biomasa real de los 42 árboles medidos, mientras que en el eje de las abscisas (x) se colocó las variables independientes: diámetro a 1,3 m a partir del nivel del suelo ($d_{1,3}$), diámetro de copa (dcopa), diámetro a la altura de la base (dbase), altura total (h) y altura al punto de copa (h.copa); con las cuales siguiendo a Chatterjee y Price (1977) y Picard *et al.* (2012), se realizó un análisis visual de la distribución obtenida para detectar valores atípicos (conocido como “outliers”), con la finalidad de eliminarlos y homogenizar la distribución de datos.

3.4.6. SELECCIÓN DE MODELOS

De acuerdo a revisión bibliográfica, se eligieron algunos modelos de volumen planteados por Loetsch *et al.* (1973) y modelos de biomasa planteados por Segura y Andrade (2008). Se seleccionó un determinado grupo de modelos de ecuaciones; y además se añadieron modelos en base al diámetro de la copa y modelos que resultaron de combinaciones posibles de esta variable vs $d_{1,3}$ y h.

3.4.7. ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Las ecuaciones elegidas se sometieron a un procedimiento de regresión lineal basado en el método de los mínimos cuadrados a través de la herramienta “Análisis de datos” del software Microsoft Excel. La información obtenida fue comparada y analizada de forma individual y entre todos los modelos; y el criterio de decisión para su aceptación o rechazo fue el propuesto por Barrena *et al.* (1986):

a. Determinación de coeficientes

En el procedimiento de análisis de regresión lineal se determinaron el intercepto y los coeficientes de la(s) variable (s) independientes de cada modelo.

b. Prueba estadística Fisher (F)

El primer criterio fue el análisis de la prueba estadística F. Para ello, se siguió la metodología propuesta por Mendiburu (s.f.) donde se evaluaron las siguientes hipótesis:

H₀: $\beta_1 = 0$. No existe una regresión lineal entre X e Y.

H₁: $\beta_1 \neq 0$. Existe regresión lineal de Y en función de X.

El criterio de decisión de rechazar la hipótesis nula (H₀) y corroborar estadísticamente que sí existe relación entre las variables, fue determinado por el “p-valor” del estadístico F y siguiendo lo propuesto por Rojo (2012) se evaluó a un nivel de confianza de 95% ($\alpha = 0,05$) donde se eliminaron aquellas ecuaciones que presentaron un p-valor superior al α (p-valor > 0,05).

c. Coeficiente de determinación (R²)

El segundo criterio analizado para la aceptación o rechazo de los modelos fue el coeficiente de determinación (R²), donde se eligieron aquellos que presentaron un R² superior o igual a 0,70, como lo recomienda Acuña (2013).

d. Prueba estadística t – Student (t)

De acuerdo a las siguientes hipótesis:

H₀: $\beta_1 = 0$. El coeficiente es estadísticamente igual a cero.

H₁: $\beta_1 \neq 0$. El coeficiente es estadísticamente diferente a cero.

Se eliminaron aquellos modelos que no presentaron significancia estadística a un 95%, es decir, presentaron un p-valor superior a 0,05 por lo menos en alguno de sus coeficientes estimados.

e. Análisis de residuos

Los residuos o errores residuales fueron calculados con la siguiente fórmula (Alder 1980) a través del procedimiento de regresión lineal.

$$Error\ residual = Valor\ observado - Valor\ predicho$$

Este análisis, consistió en graficar los residuos (eje y) versus la biomasa estimada (eje x) por cada ecuación, con la finalidad de analizar la distribución de los mismos y determinar si se cumple con el supuesto de homocedasticidad.

Las ecuaciones homocedásticas fueron elegidas como óptimas y las ecuaciones heterocedásticas fueron ponderadas.

f. Análisis de regresión ponderada

Se construyeron nuevos modelos agregándoles pesos o factores de ponderación (1/k) a cada una de las ecuaciones que resultaron ser heterocedásticas.

Para los modelos que presentaron una sola variable independiente, tales como: dap, h o dcpa se utilizaron 13 factores de ponderación, y para modelos que presentaron la combinación de dos y tres variables se utilizaron entre 50 y 54 factores de ponderación.

Los factores de ponderación $\frac{1}{K}$ para modelos de solo una variable son:

$$\frac{1}{dap^{0,2}}; \frac{1}{dap^{0,5}}; \frac{1}{dap^{0,7}}; \frac{1}{dap^{0,9}}; \frac{1}{dap}; \frac{1}{dap^{1,2}}; \frac{1}{dap^{1,5}}; \frac{1}{dap^{1,7}}; \frac{1}{dap^{1,9}}; \frac{1}{dap^2}; \frac{1}{dap^{2,5}}; \frac{1}{dap^3}; \frac{1}{dap^4}$$

Los factores de ponderación $\frac{1}{K}$ para modelos de dos y tres variables son:

$$\frac{1}{dap^{0,2}}; \frac{1}{dap^{0,5}}; \frac{1}{dap^{0,7}}; \frac{1}{dap^{0,9}}; \frac{1}{dap}; \frac{1}{dap^{1,2}}; \frac{1}{dap^{1,5}}; \frac{1}{dap^{1,7}}; \frac{1}{dap^{1,9}}; \frac{1}{dap^2}; \frac{1}{dap^{2,5}}; \frac{1}{dap^3}; \frac{1}{dap^4}$$

$$\frac{1}{h}; \frac{1}{h^2}; \frac{1}{h^4}$$

$$\frac{1}{daph^{0,2}}, \frac{1}{daph^{0,5}}, \frac{1}{daph^{0,7}}, \frac{1}{daph^{0,9}}, \frac{1}{daph}, \frac{1}{daph^{1,2}}, \frac{1}{daph^{1,5}}, \frac{1}{daph^{1,7}}, \frac{1}{daph^{1,9}}, \frac{1}{daph^2}, \frac{1}{daph^{2,5}}, \frac{1}{daph^3},$$

$$\frac{1}{daph^4}$$

$$\frac{1}{(dap^2h)^{0,2}}, \frac{1}{(dap^2h)^{0,5}}, \frac{1}{(dap^2h)^{0,7}}, \frac{1}{(dap^2h)^{0,9}}, \frac{1}{(dap^2h)}, \frac{1}{(dap^2h)^{1,2}}, \frac{1}{(dap^2h)^{1,5}}, \frac{1}{(dap^2h)^{1,7}}, \frac{1}{(dap^2h)^{1,9}},$$

$$\frac{1}{(dap^2h)^2}, \frac{1}{(dap^2h)^{2,5}}, \frac{1}{(dap^2h)^3}, \frac{1}{(dap^2h)^4}$$

$$\frac{1}{dap^{0,2}h}, \frac{1}{dap^{0,5}h}, \frac{1}{dap^{0,7}h}, \frac{1}{dap^{0,9}h}, \frac{1}{dap^{1,2}h}, \frac{1}{dap^{1,5}h}, \frac{1}{dap^{1,7}h}$$

$$\frac{1}{dap^2h^2}; \text{ donde, para todos los factores de ponderación } dap \text{ es igual a } d_{1,3}$$

En el caso de los modelos que presentaron dcopa como variable independiente, se añadió factores de ponderación reemplazando el dap por el dcopa y luego la h por el dcopa en los factores citados anteriormente; siendo en total 33 factores de ponderación que se añadieron para los modelos que presentaron como variables independientes al dcopa combinadas con $d_{1,3}$ y h.

Según lo propuesto por Barrena (1988), los nuevos modelos de ecuaciones fueron sometidos a un procedimiento de regresión ponderada, y el método para la elección de la mejor ecuación ponderada fue similar a la que se aplicó para la regresión sin ponderar, es decir, se analizó pruebas estadísticas Fisher (F), t- Student (t) y el análisis de residuos; donde se rechazaron aquellas ecuaciones que no cumplieran con los criterios mencionados anteriormente. Así mismo, de tener más de una ecuación por modelo que cumpla con lo establecido, se seleccionó aquella ecuación que presentó la mejor distribución de los residuos dentro de cada modelo.

g. Selección de la mejor ecuación

Una vez seleccionadas las ecuaciones homocedásticas sin ponderar y ponderadas, se determinó el Índice de Furnival (IF) para cada una. La ecuación con menor valor fue elegida como la ecuación que mejor estima la Biomasa de los árboles en pie de *P. falvipila* del bosque Japonés.

Para hallar el IF se empleó las siguientes fórmulas (Barrena, 1988):

Cuando no se han transformado las variables ni se ha ponderado la ecuación:

$$IF = S$$

Si la ecuación de regresión es ponderada:

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

donde “S” es la desviación estándar o la raíz cuadrada del CME, “p” es la inversa del factor de ponderación y “n” la cantidad de árboles evaluados.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. FASE DE PLANIFICACIÓN

1.1. SOBRE EL TAMAÑO DE MUESTRA

El tamaño de muestra con la que se trabajó en campo fue 42 árboles. De los cuales, uno se eliminó por presentar un $d_{1,3}$ menor a 10 cm y uno resultó ser “outlier” analizando la gráfica de biomasa vs. $d_{1,3}$, el cual también fue eliminado. Por lo que el análisis estadístico se trabajó con 40 árboles. Este tamaño de muestra es suficientemente válido para estudios de biomasa según MacDiken, citado por Andrade e Ibrahim (2003), quienes señalan que para la construcción de modelos o tablas de biomasa por especie se puede usar un mínimo de 30 árboles bien seleccionados. Asimismo, Pardé y Bouchon, citados por Picard *et al.* (2012) recomiendan evaluar 30 árboles para rodales únicos y zonas homogéneas, “como lo son los bosques de *Polylepis*” (INRENA, citado por Urquiaga 2012). Picard *et al.* (2012) añaden que los modelos de biomasa tienden a elaborarse a partir de menos observaciones que los modelos de volumen, puesto que las de biomasa resultan ser más costosas en términos de tiempo y esfuerzo de medición.

1.2. SOBRE LA ESTRATIFICACIÓN DEL BOSQUE

El bosque se dividió en tres zonas en base a las pendientes: zona de pendiente baja (de 2,52 a 28,81 por ciento), zona de pendiente media (de 28,81 a 47,89 por ciento) y zona de pendiente alta (de 47,89 a 94,35 por ciento). Estas zonas, de acuerdo a los colores: verde, amarillo y rojo respectivamente se observan en la Figura 6.

Cabe señalar, que la estratificación que se realizó en el bosque fue únicamente para determinar la distribución de la muestra en toda el área del bosque.

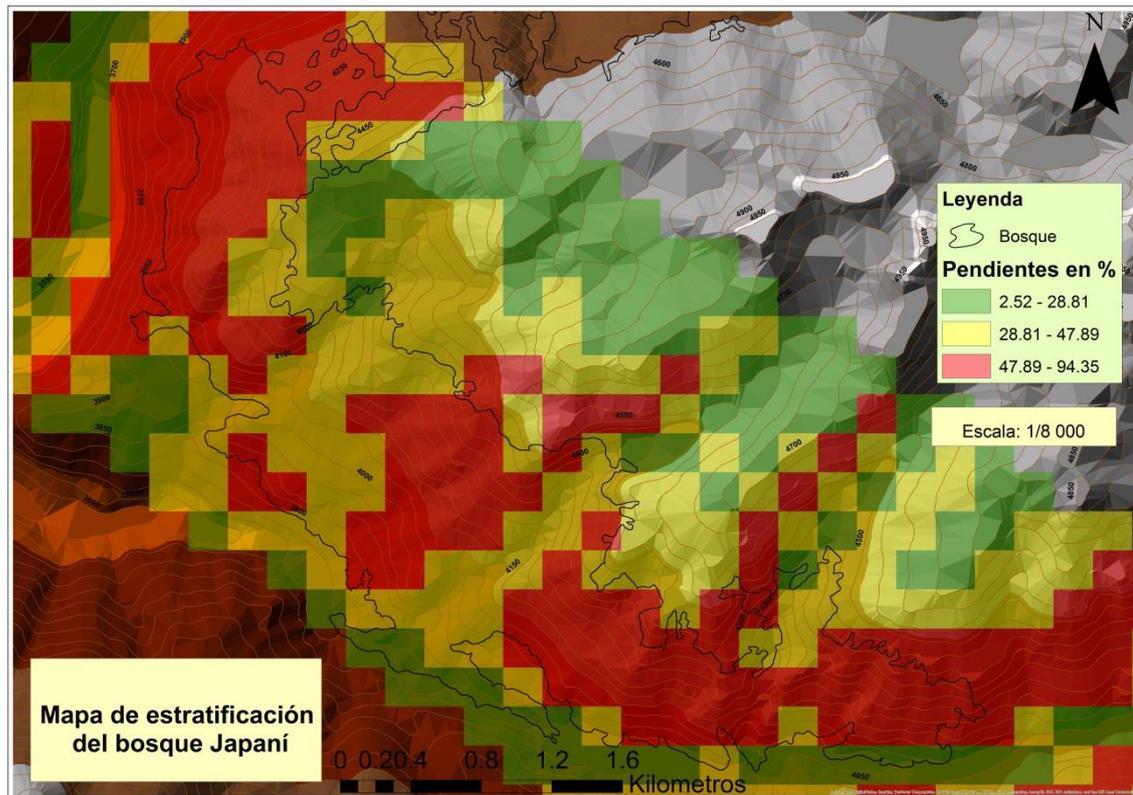


Figura 6: Mapa de estratificación del bosque Japoní, Carampoma – Huarochirí.

FUENTE: Elaboración propia.

1.3. SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE LA MUESTRA E IDENTIFICACIÓN DE SUS COORDENADAS UTM

En cada zona de pendiente del bosque, de acuerdo a la estratificación presentada anteriormente, se eligieron 15 árboles (Figura 7) y se identificaron sus respectivas coordenadas UTM (Tabla 2). Obteniéndose así una buena distribución de los árboles en el bosque.

La identificación de las coordenadas UTM de la muestra previo a la fase de campo fue de suma importancia puesto que facilitaron el trabajo en campo reduciendo los tiempos empleados en el recorrido del área de estudio. Asimismo, el procedimiento para obtener dichas coordenadas, tal como se describe en la metodología, se realiza con facilidad gracias a las herramientas que presenta el programa ArcGis.

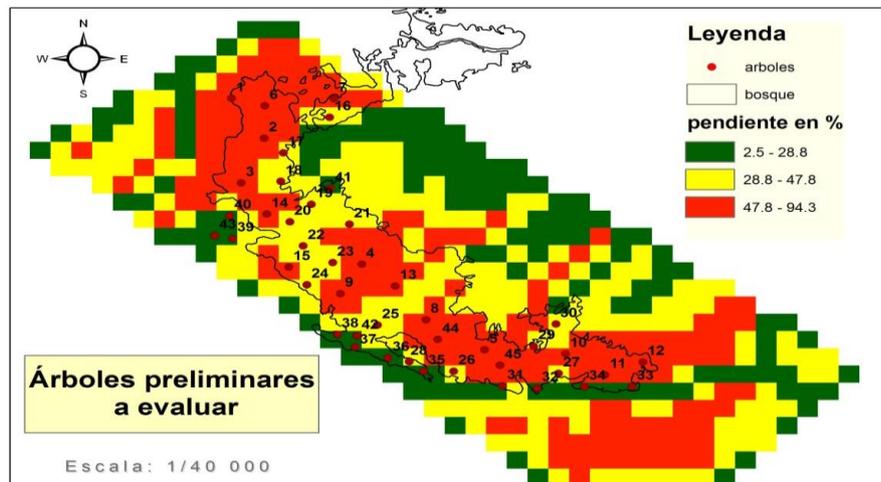


Figura 7: Distribución de los 45 árboles preliminares a evaluar.

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 2: Coordenadas UTM de los 45 árboles preliminares a evaluar en el bosque Japoní.

Punto	Point_X (E)	Point_Y (N)	Punto	Point_X (E)	Point_Y (N)	Punto	Point_X (E)	Point_Y (N)
1	341674	8713034	16	342730	8712788	31	344590	8709306
2	342026	8712517	17	342233	8712327	32	344962	8709278
3	341777	8711937	18	342206	8711957	33	345984	8709297
4	343073	8710884	19	342534	8711661	34	345468	8709297
5	344396	8709772	20	342302	8711433	35	343739	8709497
6	342031	8712936	21	342942	8711401	36	343357	8709669
7	342772	8713029	22	342444	8711121	37	343004	8709812
8	343765	8710165	23	342762	8710904	38	342813	8709975
9	342845	8710502	24	342487	8710618	39	341686	8711216
10	345266	8709722	25	343243	8710094	40	341657	8711513
11	345689	8709450	26	344064	8709497	41	342737	8711866
12	346099	8709616	27	345191	8709469	42	343023	8709956
13	343434	8710601	28	343587	8709621	43	341495	8711255
14	342051	8711534	29	344924	8709822	44	343892	8709908
15	342289	8710846	30	345163	8710108	45	344561	8709574

FUENTE: Elaboración propia.

2. FASE DE CAMPO

2.1. SOBRE LA PRESENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN A LA COMUNIDAD

En la asamblea de la comunidad campesina Santiago de Carampoma, quien administra el bosque Japaní, solo se contó con 10 minutos para informar sobre la investigación de manera general. La razón de este tiempo corto fue que, en sus asambleas, la comunidad trata diversos temas, así como conflictos e intereses, que a veces les queda corto un día; estas asambleas se realizan un día al mes.

En esta asamblea, llevada a cabo el domingo 04 de setiembre de 2016, los comuneros aceptaron con facilidad que se lleve a cabo la presente investigación en el bosque Japaní, debido a que ya se contaba con algunos antecedentes de la tesista en trabajos conjunto con el Grupo de Alumnos Voluntarios de la UNALM; asimismo indicaron que como comunidad están muy contentos que se lleven a cabo estudios en tus tierras pero que al final se deben informar los resultados para que todos los comuneros conozcan de lo que tienen en sus tierras y bosques. Por lo que solicitaron un ejemplar de la tesis al finalizar la investigación para su biblioteca y para que todos los comuneros y comuneras lo puedan revisar.

Posteriormente todas las coordinaciones para el acceso al bosque para las cuatro entradas y evaluaciones de campo se realizaron con el Sr. Benturo Villarroel Carlos, presidente del Comité de Ecoturismo de la Comunidad.

2.2. SOBRE EL TRASLADO DE LA COMUNIDAD HASTA EL BOSQUE

La Municipalidad de Carampoma cuenta con algunas camionetas, sin embargo, hay pocos comuneros que saben conducir, los que no están disponibles permanentemente, lo que dificultó obtener y contratar de inmediato el servicio de movilidad; muchas veces se los llamó por sus nombres por los parlantes de la municipalidad en coordinación con el Sr. Benturo Villarroel; y si no venían, en algunos casos se tuvo que buscarlos a sus domicilios para concretar el servicio de movilidad.

El transporte en camioneta fue de suma importancia puesto que redujo el tiempo de traslado, ya que solo caminando desde la comunidad hasta el bosque en promedio se realiza en tres horas y si se lleva carga o materiales pesados, este tiempo se prolonga.

Por otro lado, fue más fácil conseguir transporte con las acémilas y arriero, puesto que la mayoría de comuneros cuenta con acémilas y caballos, incluso en algunas oportunidades el mismo Sr. Benturo fue quien realizó este servicio.

Las acémilas y arriero fueron de mucha ayuda para cargar y trasladar los materiales desde el punto de la entrada al bosque hasta el mismo bosque; lo que permitió poder caminar con mayor facilidad.

2.3. MARCADO DE ÁRBOLES

El marcado de los árboles se realizó con la participación de la Sra. Aida Hinostroza, comunera de la comunidad de Carampoma. (Figura 8). Es importante indicar que el color de la cinta con la que se marcan los árboles facilita la ubicación de los mismos para su posterior evaluación, debido a que éstos se visualizan fácilmente a la distancia.

Asimismo, es de suma importancia recorrer el bosque con un guía de la comunidad que conozca muy bien los senderos, quebradas y zonas de fácil y difícil acceso.



Figura 8: Marcado de árboles de *P. flavipila*.

FUENTE: Elaboración propia.

Como se aprecia en la Figura 8, la principal dificultad en el marcado de los árboles fue la accesibilidad para llegar a cada árbol debido a que las zonas de mayor altitud del bosque presentan pendientes pronunciadas; por lo que de los 45 árboles preliminares sólo se marcaron y evaluaron 42 árboles.

El mapa de ubicación de los 42 árboles de *P. flavipila* que se marcaron se presenta en la Figura 9.

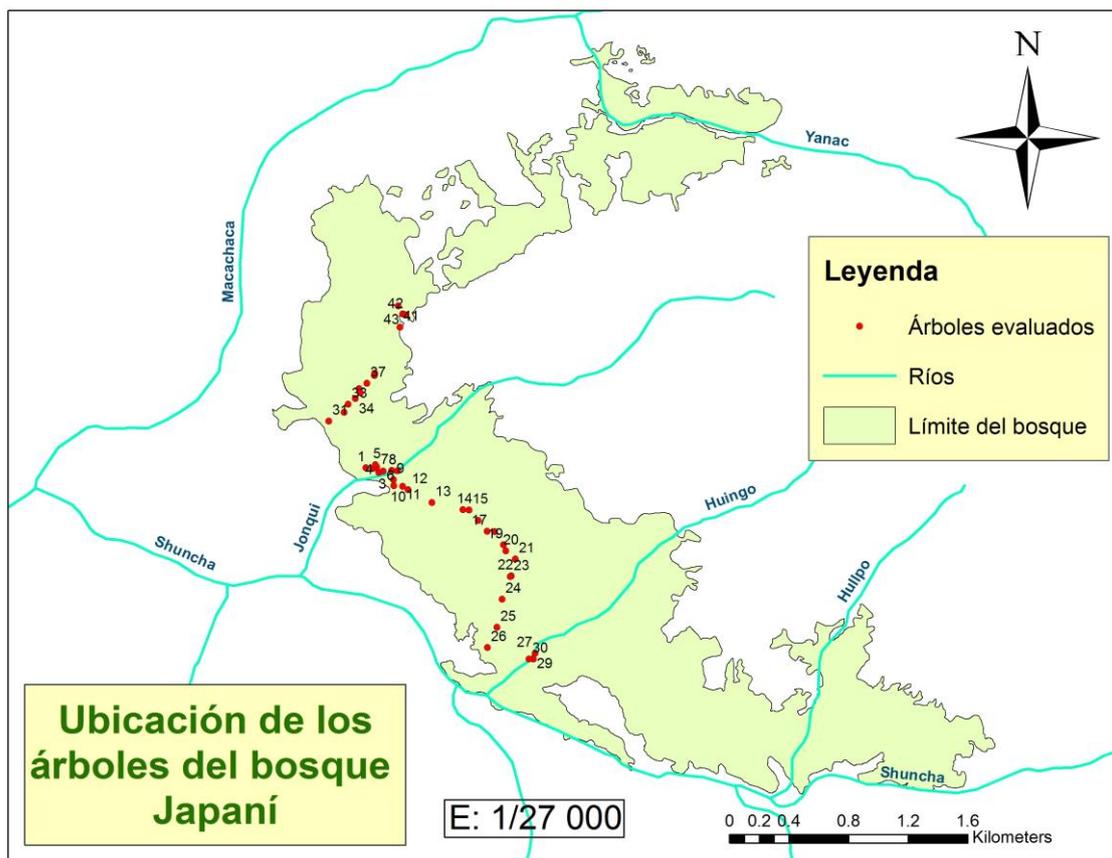


Figura 9: Árboles marcados y evaluados en el bosque Japoní.

FUENTE: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 9, los puntos rojos que representan a los árboles se encuentran a los costados de los senderos, se ubicaron 14 árboles cerca de la cuenca Huingo, 15 árboles cerca de la cuenca Jonqui y 13 árboles cerca de la cuenca Pumash. Esto debido a que a algunos de los árboles preliminares que se habían elegido antes a la salida de campo, no se pudo llegar por la fisiografía y accesibilidad que presenta el bosque, y en algunos casos por encontrarse una roca de gran dimensión en lugar del árbol; por lo que en su reemplazo se eligieron otros árboles que se encontraron en las inmediaciones a las coordenadas del árbol al que no se pudo llegar.

2.4. MEDICIÓN DE ÁRBOLES

Antes de la medición de los árboles, se dibujó el perfil de cada uno de ellos, algunos ejemplos se muestran en la Figura 10. Este perfil permitió realizar las mediciones ordenadamente y evidenció de manera detallada y clara cada una de las secciones del fuste y ramas de cada árbol.

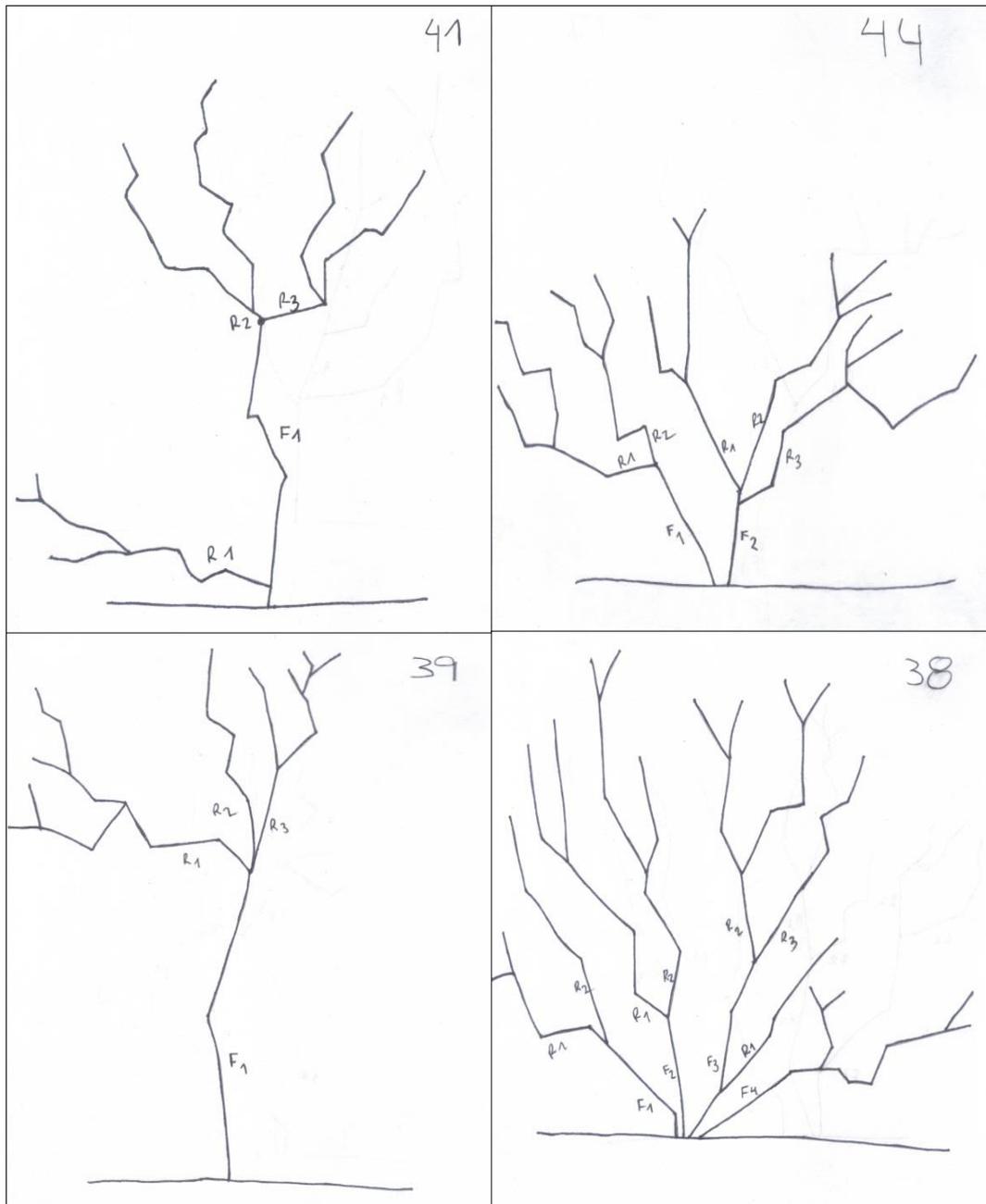


Figura 10: Perfil de los árboles 38, 39, 41 y 44.

FUENTE: Elaboración propia.

Las mediciones de cada uno de los árboles, como se muestra en la Figura 11, se realizaron en función a la metodología planteada.

Debido a la ramificación propia de *P. flavipila* la medición por árbol se llevó a cabo en una hora en promedio; siendo un tiempo menor al promedio en los árboles menos ramificados y un tiempo mayor al promedio en los árboles más ramificados.



Figura 11: Mediciones del árbol de *P. flavipila*.

FUENTE: Elaboración propia.

A manera de ejemplo, en la Tabla 3, se muestra el formato de evaluación con los datos del árbol N° 30.

Tabla 3: Datos del árbol N° 30 en el formato de evaluación.

Departamento:	Lima	
Provincia:	Huarochirí	
Zona:	Bosque Japoní	

Fecha:	26/10/2016
Hora. Inicio	08:15 a.m.
Hora. Fin	09:10 a.m.

Nro. Árbol	Coordenadas UTM	
	X:	0343106
30	Y:	8710092
	Proyección	UTM
	Datum	WGS84
	Altitud	3820

Observaciones:

Cerca de la cuenca de Huinco, pendiente, árbol de muchos años, cerca de una pared de roca, tres metros de error.

HT (m)	HC (m)	Radios de copa (m)			
		X (+)	X (-)	Y (+)	Y (-)
8	2,5	4,5	3,6	4,5	5,25

S _i	D mayor (cm)	D menor (cm)	Longitud de sección (cm)	Observaciones
S1F1	39,8	39	100	
S1R1F1	20	17,5	150	
S2R1F1	17,5	16	78	
S3R1F1	9	9	50	
S4R1F1	9	8	50	
S5R1F1	8	6	150	
S6R1F1	6	5	60	
S7R1F1	5	4	20	
S8R1F1	4	3	50	
S9R1F1	16	14	75	
S10R1F1	14	11	60	
S11R1F1	11	8,5	75	
S12R1F1	8,5	6	50	
S13R1F1	6	5	50	
S14R1F1	5	4	20	
S15R1F1	4	3	30	
S16R1F1	6	5	75	

Continuación:

S_i	D mayor (cm)	D menor (cm)	Longitud de sección (cm)	Observaciones
S1R2F1	4	3	55	fin de la rama 2
S1R3F1	31	30	60	
S2R3F1	24	22	130	
S3R3F1	22	19	120	
S4R3F1	19	17	50	
S5R3F1	17	15	100	
S6R3F1	7	5	50	
S7R3F1	5	4	90	
S8R3F1	4	3	75	
S9R3F1	6	5	120	
S10R3F1	5	4	45	
S11R3F1	4	3	60	
S12R3F1	6	5	50	
S13R3F1	5	4	40	
S14R3F1	4	3	50	
S15R3F1	9	8	70	
S16R3F1	8	7	100	
S17R3F1	7	6	60	
S18R3F1	6	5	45	
S19R3F1	5	4	40	
S20R3F1	4	3	150	
S21R3F1	8	7	30	
S22R3F1	7	6,5	40	
S23R3F1	6,5	5	50	
S24R3F1	5	4	20	
S25R3F1	4	3	40	
S26R3F1	6	5	60	
S27R3F1	5	4	40	
S28R3F1	4	3	100	

Continuación:

S_i	D mayor (cm)	D menor (cm)	Longitud de sección (cm)	Observaciones
S41R3F1	8	7	60	
S42R3F1	7	6	50	
S43R3F1	6	4	40	
S44R3F1	4	3	65	
S45R3F1	7	5,5	60	
S46R3F1	5,5	5	20	
S47R3F1	4	3	60	
S48R3F1	8	6	70	
S49R3F1	6	5	80	
S50R3F1	5	4	50	
S51R3F1	4	3	40	fin de rama 3
D_{base}	39,8			
D_{1,30}	32,5			

* Si: Sección número, Fi: Fuste número, Ri: Rama número

FUENTE: *Elaboración propia.*

Como se observa en la Tabla 3, el árbol N° 30 presenta solo un fuste con cuatro ramas principales, éstas a su vez se dividen en varias secciones: así la rama N°1 presenta 19 secciones; la rama N°2, 8 secciones; la rama N°3, 51 secciones y la rama N°4, 9 secciones.

Cabe señalar que el número de secciones que presentaron los fustes y las ramas de cada árbol varían de un árbol a otro de forma independiente y siguiendo la forma de ramificación que presenta el árbol, como se observa en la Tabla 4. Así se encontró que se presentan árboles de 2, 3, 4 y 5 fustes, los cuales se van ramificando llegando a presentar hasta seis ramas como máximo y éstas a su vez presentan varias secciones llegando a presentarse hasta 153 secciones correspondientes a una misma rama. De la misma manera, se trabajó con los otros 41 árboles.

Una vez compilado todas las mediciones de los 42 árboles en un solo formato se tuvo el resultado presentado en la Tabla 4.

Tabla 4: Base de datos de los 42 árboles de *P. flavipila*

N° de árbol	<i>D</i>_{1,3} (cm)	<i>HT</i> (m)	<i>Hpto. De copa</i> (m)	<i>D copa</i> (m)	<i>D base</i> (cm)	<i>N° de secciones defuste y ramas medidos</i>
1	21,3	6,50	2,70	5,475	31,20	34
2	16,2	6,50	1,90	7,315	32,50	65
3	17,5	4,25	1,50	4,085	27,50	56
4	20,4	5,30	2,50	7,345	24,80	116
5	26,0	7,20	3,80	7,715	41,60	145
6	13,4	2,56	1,30	4,225	14,60	54
7	20,0	6,70	2,70	7,550	25,50	109
8	24,7	7,80	2,30	6,575	34,00	108
9	14,0	3,50	2,00	5,650	12,50	115
10	21,0	4,25	4,00	5,265	21,60	51
11	14,9	4,95	3,75	4,245	17,50	44
12	20,5	8,70	4,30	6,075	17,50	130
13	17,5	6,35	2,87	6,575	21,00	83
14	17,9	4,50	2,00	5,110	17,90	78
15	22,5	7,00	4,50	5,940	25,40	59
16	21,8	6,10	3,00	6,600	21,40	212
17	15,0	6,50	3,50	4,605	19,40	43
18	18,5	8,00	4,00	6,600	21,00	135
19	20,9	4,55	1,30	4,500	23,80	59
20	14,0	5,50	3,00	6,825	18,60	63
21	20,0	8,00	4,50	5,750	21,60	80
22	17,3	7,00	4,50	7,225	20,00	60
23	15,9	5,50	3,00	5,125	19,00	52
24	29,0	6,00	2,50	9,475	31,90	209
25	9,0	4,50	3,00	3,650	13,10	42
26	10,3	5,50	2,50	5,300	13,30	47
27	37,0	7,50	3,50	10,330	42,50	148
29	11,3	4,50	2,00	4,720	13,50	43

Continuación:

N° de árbol	D _{1,3} (cm)	HT (m)	Hpto. De copa (m)	D copa (m)	D base (cm)	N° de secciones de fuste y ramas medidos
30	32,5	8,00	2,50	8,925	39,80	88
31	14,3	5,30	2,50	7,100	21,00	153
32	27,8	6,85	1,75	8,325	30,40	226
33	23,0	5,50	2,90	6,355	23,50	159
34	14,8	6,00	2,50	6,025	24,00	96
35	12,5	4,50	3,00	3,950	13,00	41
36	19,8	5,55	2,60	4,350	25,00	59
37	26,0	7,35	3,20	7,350	28,00	134
38	22,5	6,00	3,00	6,725	20,50	120
39	29,7	8,20	3,70	8,000	35,40	74
41	23,5	5,90	3,10	6,550	24,00	98
42	15,0	6,00	2,50	5,800	27,20	58
43	14,0	4,00	2,00	5,650	24,00	82
44	12,5	5,00	2,50	5,600	16,00	77
Promedio	19,42	5,94	2,86	6,20	23,71	93

d_{1,3}: diámetro medido a 1,3 m desde el nivel del suelo. Asimismo, es el diámetro del fuste de mayor grosor en el caso de que un árbol presente más de un fuste.

FUENTE: *Elaboración propia.*

Como se observa en la Tabla 4, el d_{1,3} promedio para *P. flavipila* es 19,42 cm; la altura total promedio es 5,94 m; la altura al punto de copa promedio es 2,86 m; el diámetro de copa promedio es 6,20 m y el diámetro promedio en la base del árbol es 23,71 cm. También se puede notar el total de secciones tanto del fuste y ramas que fueron medidos en cada árbol.

Cabe señalar que las mediciones por secciones fueron bastante minuciosas, llegando a medirse desde 34 hasta 212 secciones en un solo árbol; lo que nos dan mejores estimaciones de volumen y biomasa con aproximaciones cercanas a la realidad.

El individuo con mayor $d_{1,3}$ encontrado fue de 37 cm (árbol N° 27) y el de menor $d_{1,3}$ fue 9,0 cm (árbol N° 25); asimismo el individuo con mayor altura total fue de 8,7 m (árbol N° 12) y el de menor altura total fue 2,6 m (árbol N° 06).

Las clases diamétricas y clases por altura de la muestra evaluada se presentan en las Figuras 12 y 13.

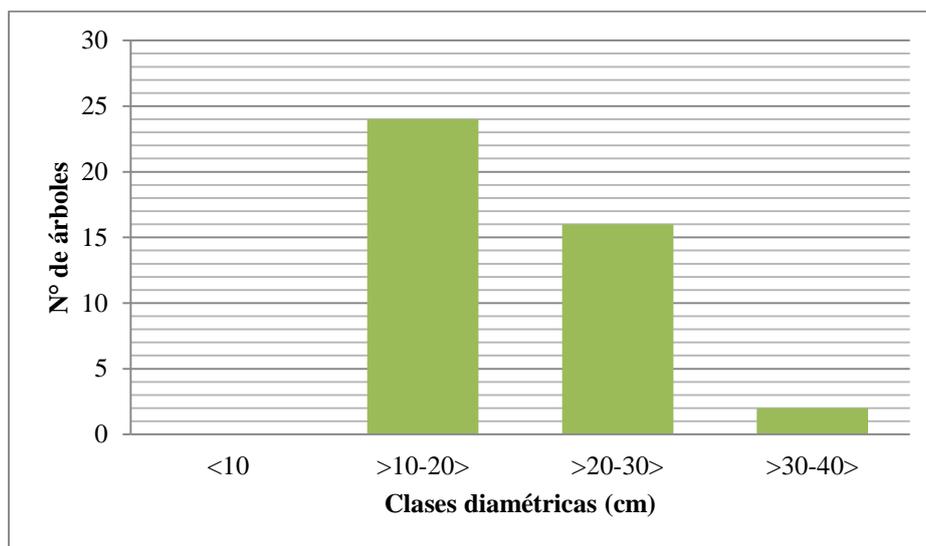


Figura 12: Clases diamétricas de los árboles de *P. flavipila*

FUENTE: Elaboración propia.

De acuerdo a la Figura 12, se puede señalar que la mayoría de los individuos de *P. flavipila* presentan diámetros entre 10 y 20 cm, seguidos por los individuos que presentan $d_{1,3}$ entre 20 y 30 cm; y son muy pocos los individuos los que presentan $d_{1,3}$ mayores a los 30 cm.

En general diámetros por encima de los 40 y 50 cm es muy raro encontrar para especies como *P. flavipila*, puesto que, por su mismo hábitat, las condiciones climáticas hacen que éstos desarrollen muy lento y solo los individuos más antiguos, que son los menos frecuentes de encontrar, son los que presentan los diámetros más grandes.

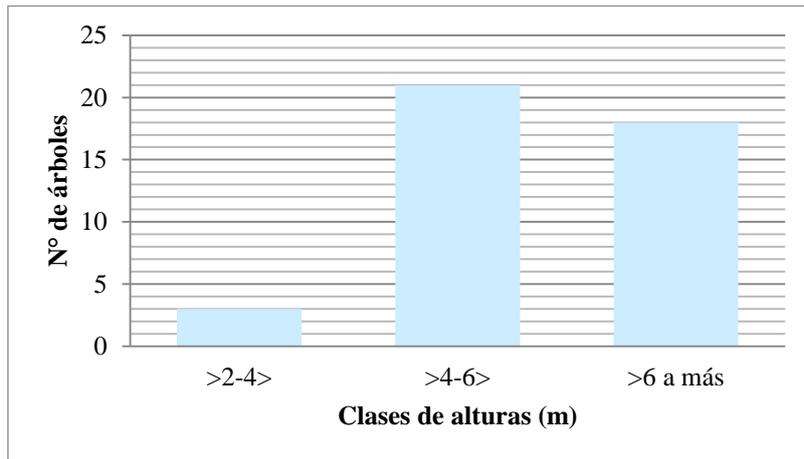


Figura 13: Clases de alturas de los árboles de *P. flavipila*

FUENTE: Elaboración propia.

En la Figura 13, se observa que los individuos de *P. flavipila* en su mayoría presentan alturas por encima de los cuatro metros, y son poco individuos los que presentan alturas entre los dos y cuatro metros.

En la Figura 14, se puede observar que en general, diámetros menores presentan alturas totales menores y a diámetros mayores presentan alturas totales mayores; existiendo así una correspondencia natural y muy frecuente, puesto que se observa una buena asociación entre ambas variables, siendo el coeficiente de correlación 0,63.

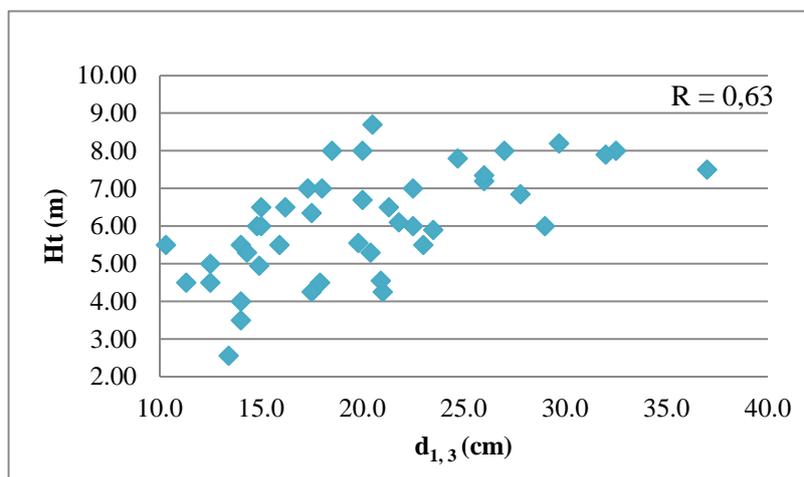


Figura 14: Relación del $d_{1,3}$ y altura total de los árboles de *P. flavipila*.

FUENTE: Elaboración propia.

Asimismo, en la Figura 15, se puede observar que hay una buena asociación y relación directa entre el $d_{1,3}$ y el diámetro de copa, es decir, que conforme aumentan los diámetros de

los fustes de los árboles, también aumentan los diámetros de las copas de los árboles; siendo el coeficiente de correlación 0,77.

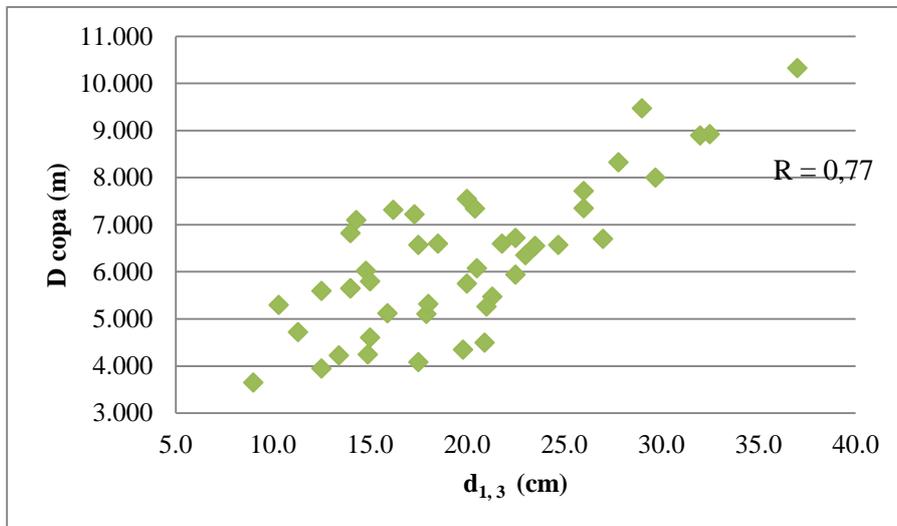


Figura 15: Relación del $d_{1,3}$ vs D copa de los árboles de *P. flavipila*.

FUENTE: Elaboración propia.

Del mismo modo, en la Figura 16, se puede observar que hay una relación directa entre las alturas totales y el diámetro de la copa, es decir, que conforme aumentan las alturas totales de los árboles, también aumentan los diámetros de las copas de los árboles. Sin embargo, la distribución de los puntos es más dispersa respecto a la Figura 15.

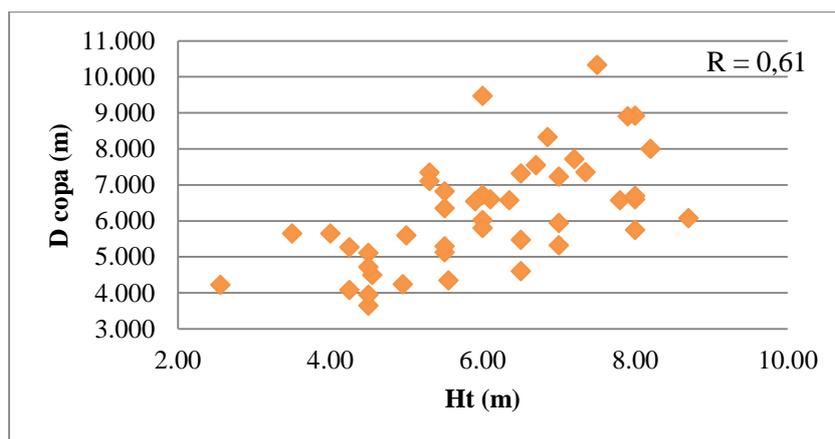


Figura 16: Relación del Ht vs D copa de los árboles de *P. flavipila*.

FUENTE: Elaboración propia.

2.5. SOBRE LA EXTRACCIÓN Y TRASLADO DE RODAJAS DE MADERA

En la comunidad de Carampoma se contrató el servicio para cortar las rodajas de madera; cabe indicar que en la comunidad son pocas las personas que tienen y manejan motosierra, pero por coordinación con el presidente del comité de ecoturismo de la comunidad fácilmente se le ubicó al Sr. Juan James; quien se encargó de comprar gasolina y aceite. Asimismo, el día previo a la extracción de las rodajas de madera, se contrató el servicio de transporte en camión desde la comunidad hacia el bosque (ida y vuelta) para el día siguiente.

La extracción en sí de las rodajas de madera, como se observa en la Figura 17 y 18, se llevó a cabo en medio día, en el que se salió de la comunidad hacia el bosque. El camión ingresó hasta el pie del bosque y allí se detuvo a esperar.

En el tumbado de los árboles la principal dificultad es que éstas se encontraron en pendientes y que la madera fue difícil de cortar, en promedio se empleó una hora en cada árbol para extraer las rodajas; el tiempo restante se empleó para transportar a pie las rodajas hasta el punto donde se encontraba el camión.



Figura 17: Extracción de rodajas de madera.

FUENTE: Elaboración propia.

Al terminar de extraer las 18 rodajas de madera, estas se codificaron como se muestra en la Figura 18, y fueron depositadas en dos costales, los cuales se cerraron para poder

trasladarlos hasta la comunidad. De no haberse usado el camión para el traslado de las rodajas, por lo menos se hubiese empleado cuatro horas en llevarlas a pie desde el bosque hasta la comunidad.



Figura 18: Rodajas de madera codificadas correspondientes al árbol N°2.

FUENTE: Elaboración propia.

2.6. SOBRE EL ACONDICIONAMIENTO DE LAS RODAJAS DE MADERA

El acondicionamiento de las rodajas de madera (Figura 19) fue de suma importancia para mantener la humedad de las mismas; de esta manera se evitó que las rodajas perdieran agua y con ello su peso en estado húmedo.



Figura 19: Acondicionamiento de las muestras de madera.

FUENTE: Elaboración propia.

3. FASE DE LABORATORIO

3.1. PREPARACIÓN DE LAS SECCIONES DE RODAJAS DE MADERA

Después de marcar y cortar las rodajas de madera (Figura 20 y 21), resultó un total de 108 secciones de madera. El corte de estas rodajas implicó el uso de una maquinaria de corte que no se tiene en la UNALM, por lo que este servicio se realizó con el apoyo del Sr. Vicente Cuba.



Figura 20: Marcado y codificado de las secciones de los discos de madera.

FUENTE: Elaboración propia.

La codificación ordenada y correlativa permitió ubicar fácilmente las secciones correspondientes a la misma rodaja al momento de manipularlas para obtener sus respectivos pesos. A manera de ejemplo, en la Figura 21, se observa la codificación de las secciones de la rodaja 1Fa.



Figura 21: Secciones en las que fue dividido el disco 1Fa.

FUENTE: Elaboración propia.

3.2. PESADO DE LAS SECCIONES DE RODAJA DE MADERA

La obtención de los pesos de cada una de las secciones de las rodajas de madera se llevó a cabo como se observa en la Figura 22. El resultado de estos pesos se muestra en la Tabla 6. Los pesos de las secciones de rodajas de madera variaron de acuerdo a su tamaño y forma, puesto que todas las secciones de rodajas no fueron exactamente iguales debido a la sinuosidad que presenta el fuste de *P. flavipila*.



Figura 22: Pesado de las secciones de rodaja de madera.

FUENTE: Elaboración propia.

3.3. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CADA SECCIÓN DE RODAJA DE MADERA

La obtención de los volúmenes de cada una de las secciones de las rodajas de madera se llevó a cabo como se observa en la Figura 23. El resultado de estos volúmenes se muestra en la Tabla 5. Cabe señalar que el método empleado para obtener volúmenes en la presente investigación es el más adecuado para secciones irregulares y para madera no aserrada.



Figura 23: Obtención de pesos para determinar el volumen de cada sección de madera.

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 5: Pesos y volúmenes de las secciones de rodaja de madera de *P. flavipila*

N° de árbol	Secciones de rodaja	Volumen de sección (cm³)	Peso (g)		N° de árbol	Secciones de rodaja	Volumen de sección (cm³)	Peso (g)	
			húmedo	seco				húmedo	seco
1	1Fa1	407,3	441,8	193,31	2	2Fc4	308,5	338,6	160,48
	1Fa2	370,2	392,8	167,47		2Fc5	187,4	196,2	92,78
	1Fa3	313,7	340,6	191,72		2Fc6	77,3	77,8	37,75
	1Fa4	254,0	261,2	117,12		2Ra1	86,1	87,5	39,93
	1Fa5	244,7	263,9	111,73		2Ra2	35,8	36,8	17,01
	1Fa6	224,7	241,6	105,59		2Ra3	49,4	50,0	22,58
	1Fb1	288,7	312,9	134,74		2Ra4	46,8	47,5	20,65
	1Fb2	450,7	497,5	214,72		2Rb1	88,6	89,8	43,71
	1Fb3	666,3	729,4	311,11		2Rb2	47,6	47,9	22,52
	1Fb4	447,5	479,9	206,42		2Rb3	43,2	43,1	20,11
	1Fb5	309,5	284,3	130,41		2Rb4	65,0	66,2	31,41
	1Fb6	256,3	245,8	115,62		2Rc1	48,4	47,8	21,73
	1Fc1	300,6	330,5	138,63		2Rc2	43,6	44,2	20,42
	1Fc2	316,0	340,2	144,92		2Rc3	69,8	70,6	31,52
	1Fc3	497,1	544,1	227,98		2Rc4	69,2	70,8	33,88
	1Fc4	297,5	308,7	133,11		3	3Fa1	265,3	280,0
	1Fc5 *	344,5	356,9	150,04	3Fa2		138,9	145,7	68,10
	1Fc6 *				3Fa3		182,4	187,3	92,03
	1Ra1	99,4	105,5	44,38	3Fa4		304,2	309,3	152,81
	1Ra2	79,6	85,8	35,22	3Fa5		148,5	152,8	68,71
	1Ra3	99,2	106,8	44,36	3Fa6		355,0	371,8	176,21
	1Ra4	90,4	96,7	40,05	3Fb1		342,5	356,4	172,54
	1Ra5	90,0	96,1	39,13	3Fb2		178,4	184,3	82,82
	1Ra6	77,8	80,1	32,29	3Fb3		493,4	534,3	252,50
	1Rb1	103,8	107,7	43,56	3Fb4		184,5	191,2	91,74
	1Rb2	111,9	120,1	48,70	3Fb5		168,0	168,4	81,92
	1Rb3	123,8	132,3	55,88	3Fb6		368,9	398,7	181,98
	1Rb4	84,2	87,3	35,73	3Fc1		391,5	408,4	189,22
	1Rb5	70,8	73,9	30,52	3Fc2		133,3	136,2	61,56
	1Rb6	70,0	67,6	29,15	3Fc3		878,4	956,8	440,65
	1Rc1	142,4	150,3	60,61	3Fc4		353,7	364,0	180,46
	1Rc2	146,6	156,3	63,17	3Fc5		300,6	296,9	154,74
	1Rc3	115,5	123,0	49,64	3Fc6		656,6	702,9	332,54
	1Rc4	116,9	126,2	53,25	3Ra1	54,6	58,6	28,07	
1Rc5	115,4	120,2	49,92	3Ra2	52,8	53,3	24,92		
1Rc6	166,0	173,5	74,34	3Ra3	166,1	170,6	77,07		
2	2Fa1	128,4	133,2	60,17	3Ra4	114,0	117,1	51,45	
	2Fa2	113,2	116,9	53,89	3Ra5	56,2	56,4	26,26	
	2Fa3	113,1	117,8	53,37	3Ra6	105,5	111,8	50,96	
	2Fa4	180,9	193,8	93,06	3Rb1	95,4	97,0	45,18	

Continuación:

N° de árbol	Secciones de rodaja	Volumen de sección (cm³)	Peso (g)		N° de árbol	Secciones de rodaja	Volumen de sección (cm³)	Peso (g)	
			húmedo	seco				húmedo	seco
2	2Fa5	182,0	197,3	94,90	3	3Rb2	77,2	77,5	36,32
	2Fa6	110,3	119,4	55,12		3Rb3	73,7	76,1	35,92
	2Fb1	155,2	160,6	77,66		3Rb4	67,4	68,8	31,25
	2Fb2	141,2	145,8	70,89		3Rb5	126,4	131,0	62,39
	2Fb3	110,3	113,7	55,36		3Rb6	180,0	182,3	86,13
	2Fb4	202,8	213,0	102,35		3Rc1	133,4	140,2	64,36
	2Fb5	235,5	253,5	116,32		3Rc2	78,1	83,8	38,00
	2Fb6	112,8	118,9	53,81		3Rc3	63,4	66,0	28,71
	2Fc1	188,4	206,2	95,63		3Rc4	70,9	73,1	33,44
	2Fc2	184,0	191,4	92,33		3Rc5	58,7	63,1	28,86
	2Fc3	124,4	126,7	61,47		3Rc6	121,2	124,8	55,21

*Se consideraron como una sola sección, puesto que no se pudo cortar.

FUENTE: Elaboración propia.

3.4. SECADO DE LAS SECCIONES DE RODAJA DE MADERA

La capacidad del horno de secado alcanzó para secar todas las secciones de madera a la vez (Figura 24) y los pesos constantes de las secciones de madera se alcanzaron a los cinco días de secado. Los pesos secos de cada sección de rodaja de madera se muestran en la Tabla 5.



Figura 24: Secado de las muestras.

FUENTE: Elaboración propia.

En el proceso de retirar las secciones de madera del horno y colocarlas en el desecador (Figura 25) es de suma importancia utilizar pinzas metálicas y guantes para evitar quemarse las manos. Asimismo, tapar bien el desecador para evitar que la madera absorba humedad del ambiente.



Figura 25: Secciones de madera en el desecador.

FUENTE: Elaboración propia.

4. FASE DE GABINETE

4.1. INGRESO Y VERIFICACIÓN DE LOS DATOS

Los datos de los formatos de evaluación: tales como diámetros a diferentes secciones, longitud de cada sección, diámetro a la altura de 1,3 m ($D_{1,3}$), altura total (HT), altura al punto de la copa (Hpto.De copa), radios de la copa (D_{copa}) y diámetro a la altura de la base (D_{base}) de cada uno de los 42 árboles se organizaron en hojas de cálculo de Excel para facilitar el cálculo individual del volumen; los cuales se organizaron tal como se muestra en la Tabla 6.

Luego se verificó que los datos en Excel sean exactamente los mismos que los de la libreta de campo o formatos de evaluación.

Este paso es de suma importancia tal como lo señalan Picard *et al.* (2012), “que después de la fase de mediciones de campo y antes de la fase de análisis de los datos, viene la fase de estructuración de los mismos, que incluye su ingreso, la verificación de su exactitud y su formato”, para así evitar posteriores errores.

4.2. VOLUMEN INDIVIDUAL DE CADA ÁRBOL

El volumen de cada uno de los árboles resultó de la sumatoria de los volúmenes de cada una de las secciones de los fustes y de las ramas. Siendo los volúmenes de cada árbol los que se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6: Datos y volumen calculado de cada uno de los árboles evaluados.

N° de árbol	D _{1,3} (cm)	HT (m)	Hpto. De copa (m)	D copa (m)	D base (cm)	Volumen de árbol (m ³)	N° de árbol	D _{1,3} (cm)	HT (m)	Hpto. De copa (m)	D copa (m)	D base (cm)	Volumen de árbol (m ³)
1	21,3	6,50	2,70	5,475	31,20	0,218000	24	29,0	6,00	2,50	9,475	31,90	0,943444
2	16,2	6,50	1,90	7,315	32,50	0,243977	25	9,0	4,50	3,00	3,650	13,10	0,079109
3	17,5	4,25	1,50	4,085	27,50	0,142440	26	10,3	5,50	2,50	5,300	13,30	0,117056
4	20,4	5,30	2,50	7,345	24,80	0,366530	27	37,0	7,50	3,50	10,330	42,50	1,092437
5	26,0	7,20	3,80	7,715	41,60	0,740292	29	11,3	4,50	2,00	4,720	13,50	0,059417
6	13,4	2,56	1,30	4,225	14,60	0,051855	30	32,5	8,00	2,50	8,925	39,80	0,749792
7	20,0	6,70	2,70	7,550	25,50	0,353198	31	14,3	5,30	2,50	7,100	21,00	0,361210
8	24,7	7,80	2,30	6,575	34,00	0,467292	32	27,8	6,85	1,75	8,325	30,40	0,727835
9	14,0	3,50	2,00	5,650	12,50	0,275918	33	23,0	5,50	2,90	6,355	23,50	0,545048
10	21,0	4,25	4,00	5,265	21,60	0,517242	34	14,8	6,00	2,50	6,025	24,00	0,316383
11	14,9	4,95	3,75	4,245	17,50	0,073861	35	12,5	4,50	3,00	3,950	13,00	0,116651
12	20,5	8,70	4,30	6,075	17,50	0,351391	36	19,8	5,55	2,60	4,350	25,00	0,233738
13	17,5	6,35	2,87	6,575	21,00	0,347676	37	26,0	7,35	3,20	7,350	28,00	0,638731
14	17,9	4,50	2,00	5,110	17,90	0,201269	38	22,5	6,00	3,00	6,725	20,50	0,504240
15	22,5	7,00	4,50	5,940	25,40	0,336601	39	29,7	8,20	3,70	8,000	35,40	0,612510
16	21,8	6,10	3,00	6,600	21,40	0,508604	41	23,5	5,90	3,10	6,550	24,00	0,389365
17	15,0	6,50	3,50	4,605	19,40	0,148573	42	15,0	6,00	2,50	5,800	27,20	0,272621
18	18,5	8,00	4,00	6,600	21,00	0,571018	43	14,0	4,00	2,00	5,650	24,00	0,232119
19	20,9	4,55	1,30	4,500	23,80	0,188841	44	12,5	5,00	2,50	5,600	16,00	0,175273
20	14,0	5,50	3,00	6,825	18,60	0,180544							
21	20,0	8,00	4,50	5,750	21,60	0,328960							
22	17,3	7,00	4,50	7,225	20,00	0,292962							
23	15,9	5,50	3,00	5,125	19,00	0,199503							

FUENTE: Elaboración propia.

Cabe indicar, que los diámetros de copa que se presentan en la Tabla 6, fue el resultado de sumar los radios respectivos en el eje “x” y en el eje “y” los que luego fueron promediados.

Según la Tabla 6, el volumen promedio en árboles de *P. flavipila* es 0,364 m³. Urquiaga (2012) encontró en un bosque se *Polylepis* sp. de Cusco, un volumen de 144,655 m³/ha y 1141,67 árboles/ha; con lo cual el volumen promedio de cada árbol de *Polylepis* sp. sería 0,127 m³, este valor es menor y no coincide con lo encontrado en la presente investigación.

La razón de esto se debe a que los bosques de Polylepis de Cusco y Japaní presentan densidades poblacionales diferentes, siendo la densidad del bosque de Japaní 400 árboles/ha (Florencio 2013).

Asimismo, se observa que el árbol que tiene mayor volumen es el árbol con el mayor $d_{1,3}$ pero no es el árbol con la mayor altura total. Pues el árbol que presenta el volumen mayor ($1,092 \text{ m}^3$) es el árbol N° 27, el cual tiene un $d_{1,3}$ de 37 cm ($d_{1,3}$ mayor) y una altura de 7,5 m; sin embargo, el árbol con mayor altura total (8,7 m) es el árbol N° 12. De igual forma el árbol que tiene el menor volumen no es árbol con el menor $d_{1,3}$, pero si coincide con el árbol que presenta la menor altura total.

4.3. CONTENIDO DE HUMEDAD (CH%) Y DENSIDAD BÁSICA (DB) DE LA MADERA DE *POLYLEPIS FLAVIPILA*

A partir de los datos de laboratorio se calcularon los volúmenes y pesos para cada una de las 108 secciones de rodaja de madera (Tabla 5). A partir de los cuales se determinó el CH% y la DB para cada sección de rodaja de madera, cuyos resultados se presentan en el Anexo 2.

Siendo el contenido de humedad promedio en el fuste es 116,9 por ciento como se observa en la Tabla 7.

Tabla 7: Contenido de humedad (%) encontrada en *P. flavipila*

	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	CH% promedio
Fuste	127,755	111,902	111,067	116,908

FUENTE: *Elaboración propia.*

El árbol 1, se encontró dentro del bosque y en zona de pendiente, mientras que los árboles 2 y 3 los que estaban cercanos uno del otro, se encontraron alrededor del bosque, al lado del río y en una zona plana. Esto podría ser la razón por lo que el árbol 1 presenta mayor humedad puesto que al estar al dentro bosque, los árboles que se encuentran a sus alrededores hacen que haya mayor humedad en el ambiente y por ende en el fuste. En cambio, los árboles 2 y 3, si bien están al lado del río, se encuentran a la intemperie, lo que hace que con el viento tenga menor humedad en el ambiente y en el fuste del árbol.

La densidad básica promedio de *P. flavipila* a nivel del fuste es $0,486 \text{ g/cm}^3$, como se observa en la Tabla 8.

Tabla 8: Densidad básica (g/cm³) de *P. flavipila*

	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	DB promedio (g/cm ³)
Fuste	0,441	0,497	0,494	0,486

FUENTE: Elaboración propia.

Este resultado es similar a la densidad básica determinada por MAE (2014) para *Polylepis incana* (0,47 g/cm³) en Ecuador, y menor a la densidad básica determinado por Aylas *et al.* (s.f.) para *Polylepis racemosa* (0,54 g/cm³) en la provincia de Huancayo, Junín.

4.4. BIOMASA DE CADA ÁRBOL

La biomasa (Tabla 9) se obtuvo multiplicando el volumen de cada uno de los árboles por la densidad básica del fuste (0,486 t/m³).

Tabla 9: Biomasa calculada para cada uno de los árboles evaluados

N° de árbol	Volumen (m ³)	Biomasa (t)	N° de árbol	Volumen (m ³)	Biomasa (t)	N° de árbol	Volumen (m ³)	Biomasa (t)
1	0,218000	0,10594813	16	0,508604	0,24718145	31	0,361210	0,17554825
2	0,243977	0,11857274	17	0,148573	0,07220624	32	0,727835	0,35372805
3	0,142440	0,06922589	18	0,571018	0,27751482	33	0,545048	0,26489323
4	0,366530	0,17813336	19	0,188841	0,09177679	34	0,316383	0,15376215
5	0,740292	0,35978198	20	0,180544	0,08774419	35	0,116651	0,05669251
6	0,051855	0,02520132	21	0,328960	0,15987471	36	0,233738	0,11359687
7	0,353198	0,1716543	22	0,292962	0,14237959	37	0,638731	0,31042343
8	0,467292	0,22710404	23	0,199503	0,09695826	38	0,504240	0,24506066
9	0,275918	0,13409618	24	0,943444	0,45851381	39	0,612510	0,29767988
10	0,517242	0,25137972	25	0,079109	0,03844681	41	0,389365	0,18923142
11	0,073861	0,03589634	26	0,117056	0,05688931	42	0,272621	0,13249368
12	0,351391	0,17077588	27	1,092,437	0,53092453	43	0,232119	0,11280961
13	0,347676	0,16897047	29	0,059417	0,02887663	44	0,175273	0,08518286
14	0,201269	0,09781678	30	0,749792	0,36439912			
15	0,336601	0,16358786						

*Densidad Básica = 0,486 t/m³

FUENTE: Elaboración propia.

De acuerdo a la Tabla 9, la biomasa promedio por árbol es 0,177 t; siendo el valor mínimo 0,025 t/árbol (árbol N° 6) y el valor máximo 0,594 t/árbol (árbol N°27). Se observa que esta diferencia se debe al tamaño de diámetro que presenta el árbol, existiendo una relación directa entre el diámetro y la biomasa; es decir, a mayor diámetro la cantidad de biomasa también es mayor y a menores diámetros, la cantidad de biomasa es menor.

4.5. ANÁLISIS DE VARIABLES

En las Figuras 26, 27, 28, 29 y 30 se muestran gráficos de dispersión que señalan la relación entre la variable dependiente: biomasa, y las cinco variables independientes: $d_{1,3}$, h total, hpto. copa, dcopa y dbase de los 42 árboles evaluados. Pues como se sabe y como lo señalan Picard *et al.* (2012), la exploración gráfica de los datos es la primera etapa del análisis, que consiste en estudiar visualmente las relaciones entre las variables para tener una idea del tipo de modelo que hay que ajustar. Asimismo, permite identificar los “outliers” como lo señala Orellana (2008).

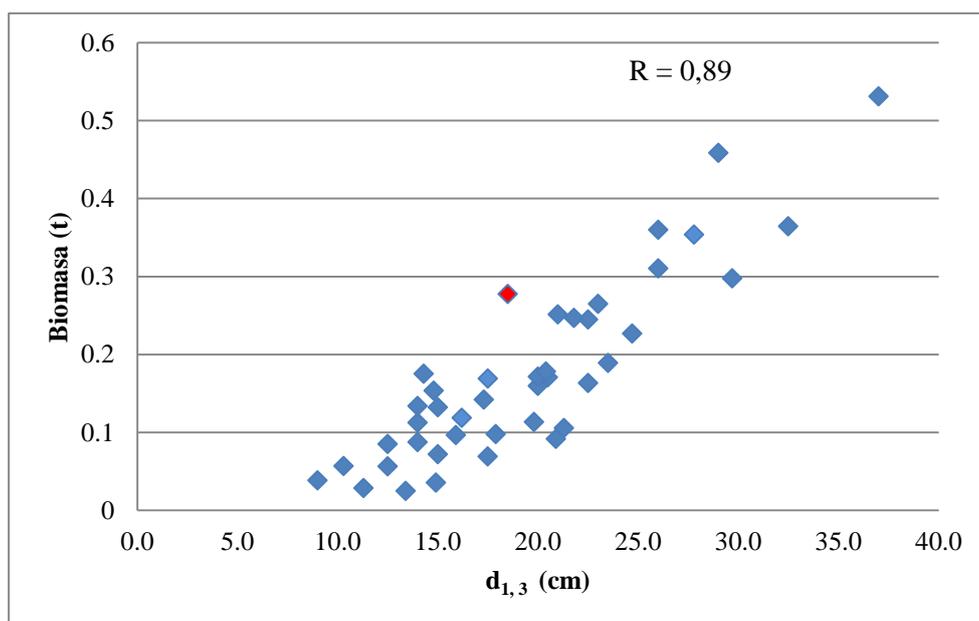


Figura 26: Relación de la Biomasa y el dap de los 42 árboles de *P. flavipila*

FUENTE: Elaboración propia.

La Figura 26, muestra los datos del $d_{1,3}$ y su relación con la biomasa, en la que se observa que a medida que aumenta el $d_{1,3}$, la biomasa también se incrementa, es decir, hay una linealidad y una relación directa. Presentándose una alta correlación entre ambas variables; siendo el coeficiente de correlación 0,89.

Es importante mencionar, que en la Figura 26 se ha resaltado de color rojo un árbol denominado atípico u “outlier” (árbol N° 18) el que fue eliminado analizando la gráfica de biomasa vs $d_{1,3}$. La razón principal de la elección de dicho “outlier” fue porque este se encontraba más alejado a la línea de tendencia de la gráfica.

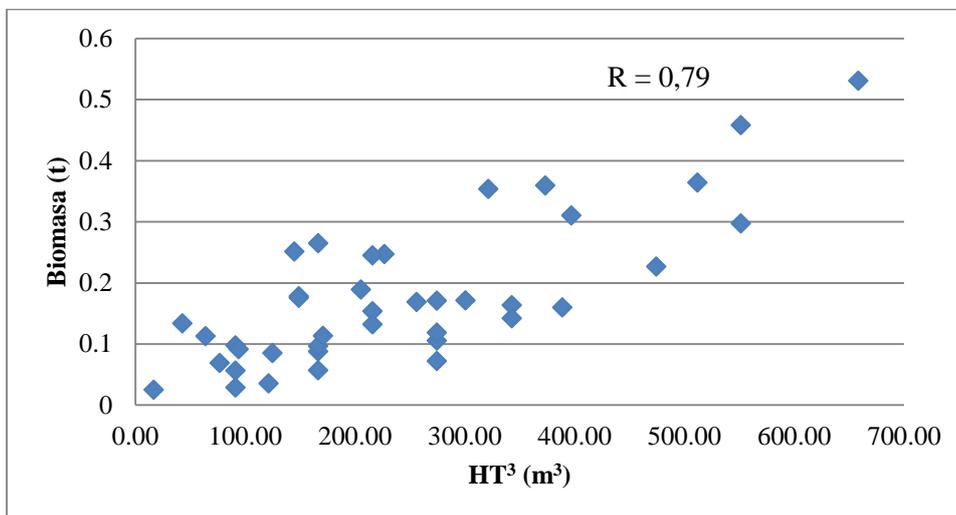


Figura 27: Relación de la Biomasa y altura total de los 42 árboles de *P. flavipila*

FUENTE: Elaboración propia.

La Figura 27, muestra los datos de la altura total y su relación con la biomasa y se observa que a medida que aumenta la altura total, la biomasa también se incrementa, es decir, hay una linealidad, una relación directa y una correlación aceptable entre ambas variables; siendo el coeficiente de correlación 0,79.

Comparando las Figuras 26 y 27, también se podría indicar que el $d_{1,3}$ por sí solo constituye una variable que representa un mejor ajuste para estimar la biomasa, que la altura total por sí sola.

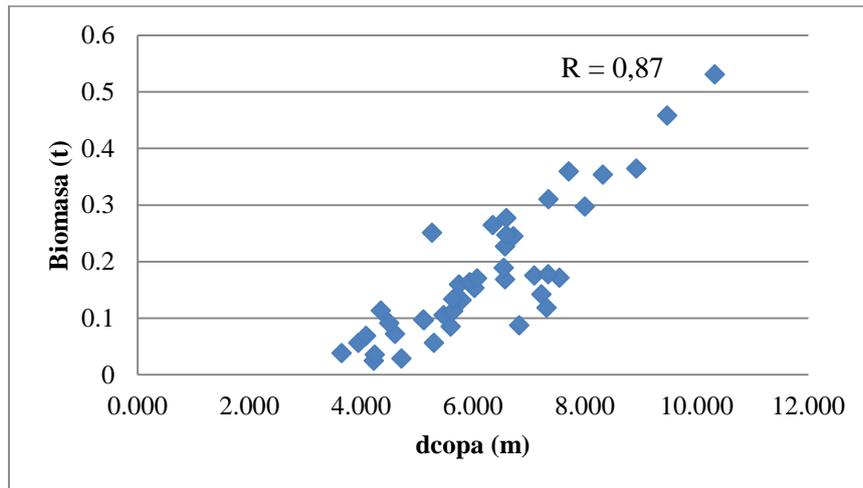


Figura 28: Relación de la Biomasa y diámetro de copa de los 42 árboles de *P. flavipila*

FUENTE: Elaboración propia.

La Figura 28 muestra los datos del dcopa y su relación con la biomasa y se observa que a medida que aumenta el dcopa, la biomasa también se incrementa, es decir, hay una linealidad, una relación directa y una correlación aceptable entre ambas variables; siendo el coeficiente de correlación 0,87.

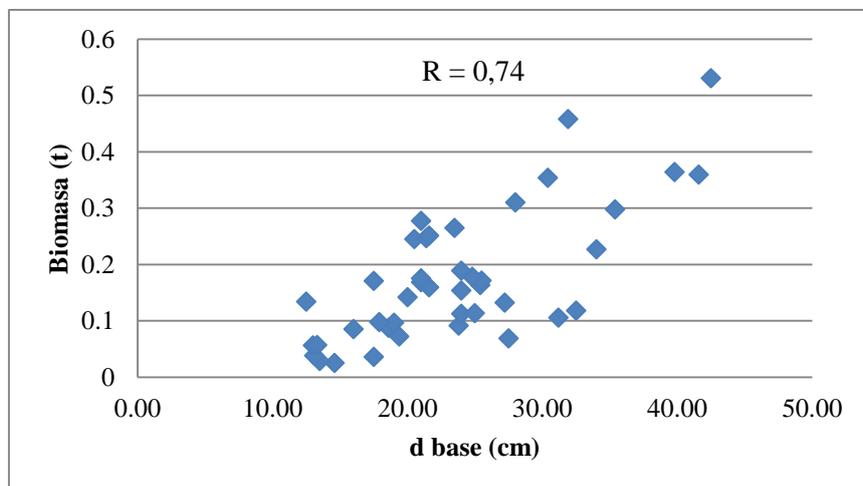


Figura 29: Relación de la Biomasa y diámetro de la base de los 42 árboles de *P. flavipila*

FUENTE: Elaboración propia.

La Figura 29 muestra los datos del d base y su relación con la biomasa y se observa que a medida que aumenta el d base, la biomasa también se incrementa; sin embargo, a diferencia

de las gráficas de las variables anteriores y su relación con la biomasa, ésta es más dispersa. Siendo el coeficiente de correlación entre ambas variables 0,74.

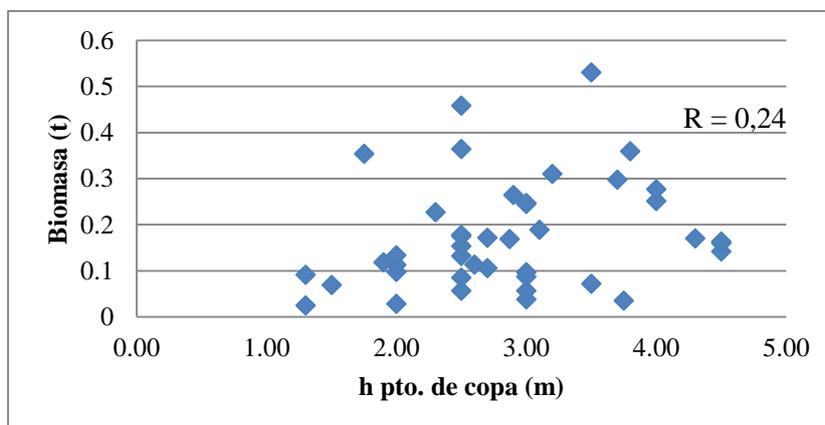


Figura 30: Relación de la Biomasa y altura al punto de copa de los 42 árboles de *P. flavipila*

FUENTE: Elaboración propia.

En la Figura 30, que relaciona la altura al punto de la copa vs la biomasa, se observa que no hay una buena correlación entre las variables ($R = 0,24$) puesto que los datos se encuentran dispersos. Aguayo (2007) menciona que esto no significa que las variables no estén relacionadas “linealmente”; sino que, bajo este supuesto, se podría indicar en primera instancia que la altura del punto de copa por sí sola no sería una variable que represente un buen ajuste para estimar la biomasa de los árboles de *Polylepis flavipila*.

Así, la muestra con la que se trabajó en los análisis posteriores para la elección de la mejor ecuación queda reducida a 40 árboles.

Las Figuras 31, 32, 33, 34, 35, 36 y 37, muestran las relaciones de la biomasa con cada una de las variables independientes de los 40 árboles.

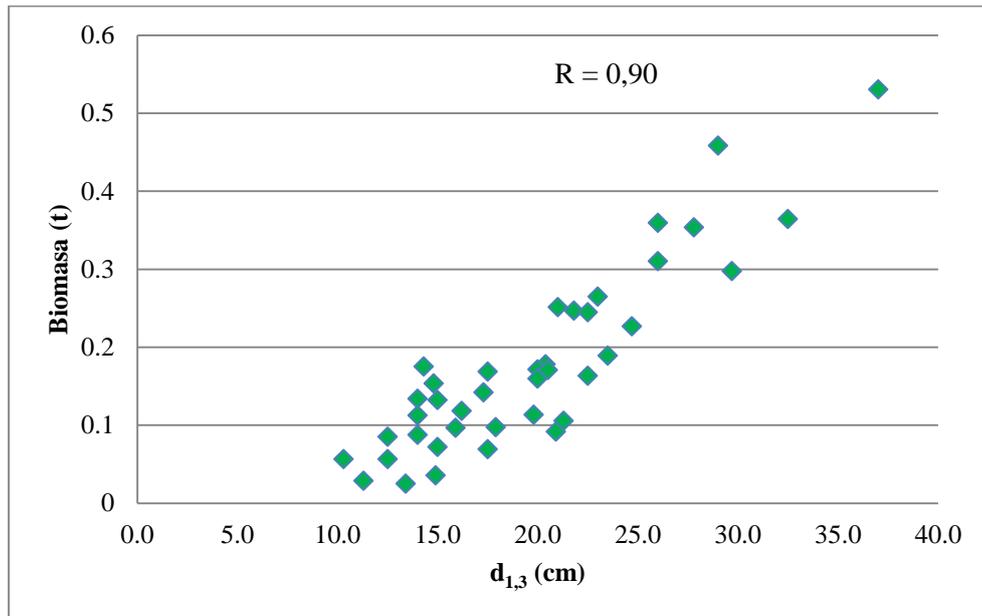


Figura 31: Relación de la Biomasa y el $d_{1,3}$ de los 40 árboles de *P. flavipila*

FUENTE: Elaboración propia.

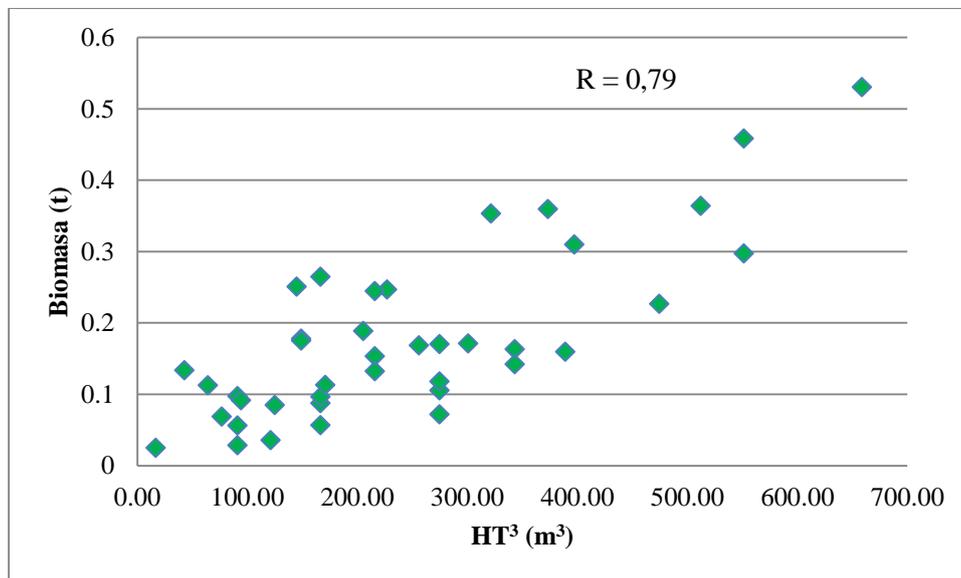


Figura 32: Relación de la Biomasa y altura total de los 40 árboles de *P. flavipila*

FUENTE: Elaboración propia.

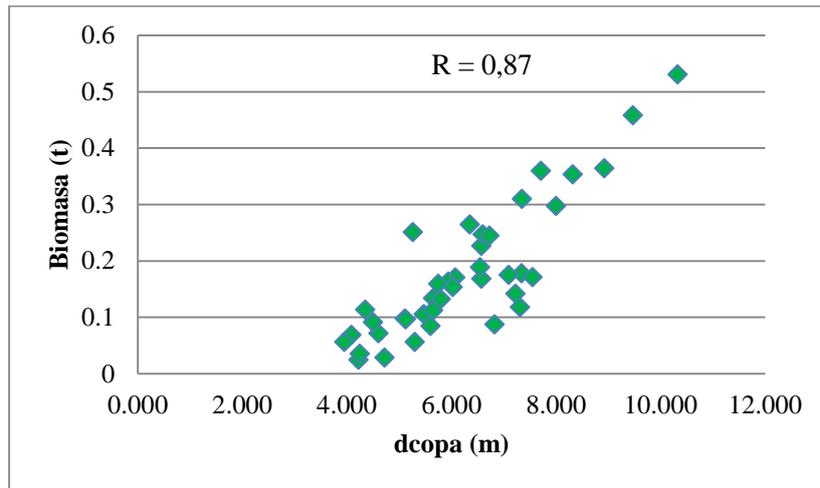


Figura 33: Relación de la Biomasa y diámetro de copa de los 40 árboles de *P. flavipila*

FUENTE: Elaboración propia.

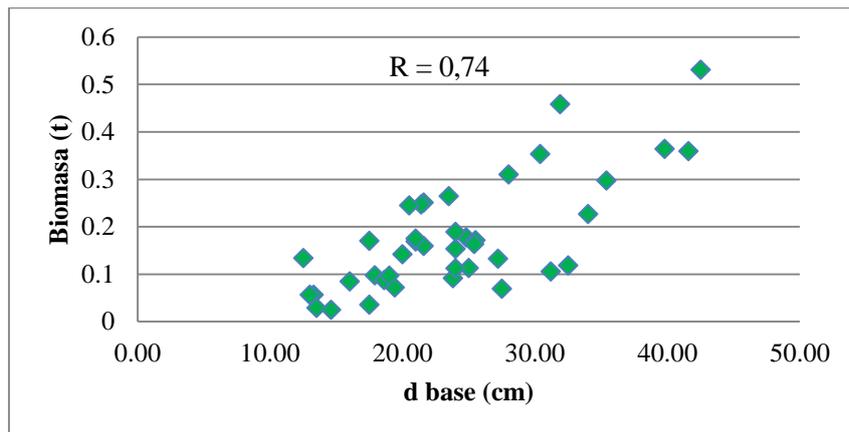


Figura 34: Relación de la Biomasa y dbase de los 40 árboles de *P. flavipila*

FUENTE: Elaboración propia.

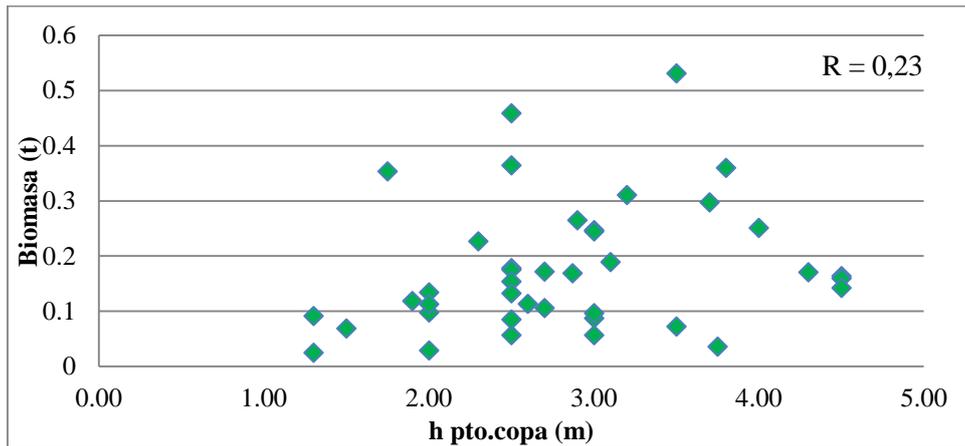


Figura 35: Relación de la Biomasa y hpto.de copa de los 40 árboles de *P. flavipila*

FUENTE: Elaboración propia.

De acuerdo a las Figuras anteriores, las variables que podrían representar mejor por sí solas con un buen ajuste para una ecuación de biomasa son el $d_{1,3}$, HT, y dcopa; mientras las que no podrían representar por sí solas un buen ajuste para una ecuación de biomasa son la hpto.copa y d base.

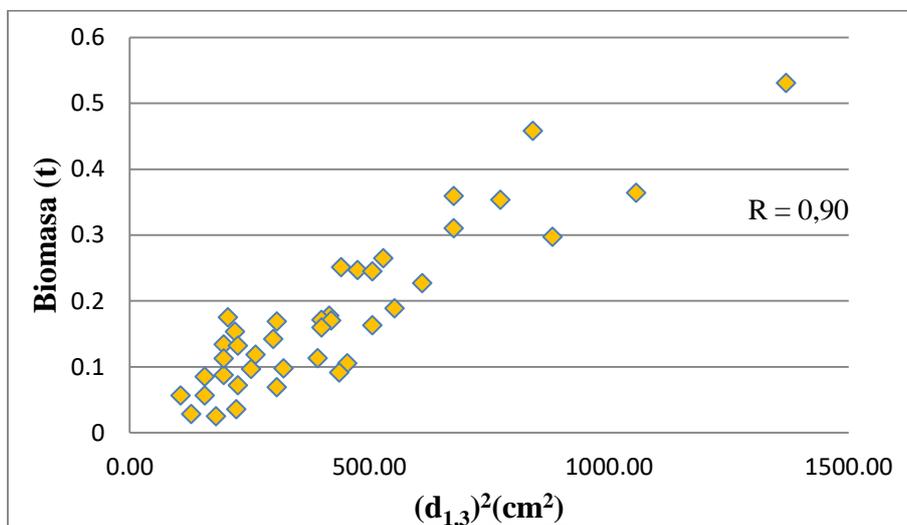


Figura 36: Relación de la Biomasa y $(d_{1,3})^2$ de los 40 árboles de *P. flavipila*

FUENTE: Elaboración propia.

Las Figuras 36, muestra una relación lineal positiva, es decir, a medida que aumenta la variable independiente, aumenta también la variable dependiente; donde la biomasa y el $(d_{1,3})^2$ presentan una alta correlación; siendo el coeficiente de correlación 0,90.

Pues como lo señalan Overman *et al.*, citados por Schlegel *et al.* (2001), en la mayoría de los trabajos realizados en zonas tropicales al igual que en zonas templadas, se han encontrado que la variable independiente que mejor explica la biomasa de un árbol es el DAP.

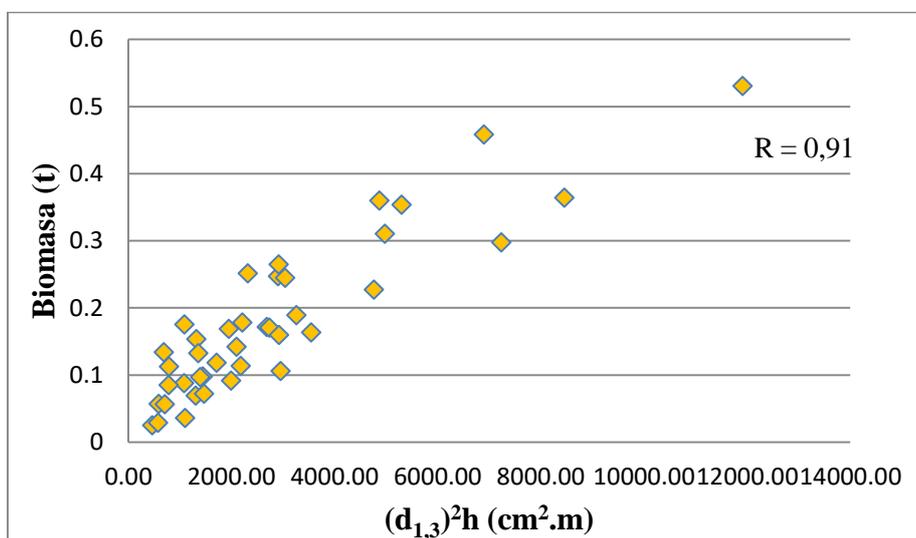


Figura 37: Relación de la Biomasa y $(d_{1,3})^2h$ de los 40 árboles de *P. flavipila*

FUENTE: *Elaboración propia.*

La Figura 37 muestra una relación lineal positiva, es decir, a medida que aumenta la variable independiente, aumenta también la variable dependiente. Ambas variables presentan una alta correlación; siendo el coeficiente de correlación 0,91.

A modo de resumen, en la Tabla 10, se presenta los coeficientes de correlación entre las variables de estudio. Se observa que existe una buena correlación (aceptable) entre la biomasa y el $d_{1,3}$, h^3 , $dcopa$ y $dbase$ como únicas variables; asimismo existe una buena correlación entre las variables $dcopa$ vs $d_{1,3}$, biomasa vs $(d_{1,3})^2$ y biomasa vs $(d_{1,3})^2 \cdot h$. Y existe una baja correlación entre la biomasa y $hpto.copa$ como única variable.

Se puede notar claramente que además de observarse una buena correlación entre la biomasa y $d_{1,3}$; este diámetro tiene la ventaja de ser práctica al momento de realizar mediciones y estimar biomasa.

Tabla 10: Coeficiente de correlación (R) entre las variables de estudio.

X	Y	R
B	$d_{1,3}$	0,90
B	h^3	0,79
B	dcopa	0,87
B	dbase	0,74
B	hpto.copa	0,23
B	$(d_{1,3})^2$	0,90
B	$(d_{1,3})^2 \cdot h$	0,91
h	$d_{1,3}$	0,63
dcopa	$d_{1,3}$	0,77
dcopa	h	0,61

FUENTE: Elaboración propia.

Díaz *et al.* (2007), mencionan que las ecuaciones de biomasa mejoran su predicción cuando se consideran al mismo tiempo las variables diámetro y la altura. Ketterings, citado por Gómez *et al.* (2011), añade que la altura de los árboles al ser difícil de medir, puede no explicar más la varianza de un sitio donde se originaron los datos, pero su incorporación tiene la ventaja de incrementar el potencial de aplicabilidad de las ecuaciones generadas en otros sitios con características similares.

4.6. SELECCIÓN DE MODELOS DE ECUACIONES

En total se trabajó con 100 modelos de ecuaciones elegidos y generados tal como se indica en la metodología. Estos modelos son el resultado de las combinaciones con las diferentes variables y exponentes que se usaron para el análisis de regresión. Se puede notar que el modelo Schumacher-Hall fue modificado y adaptado para este trabajo, y otros modelos fueron adaptados de estudios similares.

En la Tabla 11, se presenta en total los 100 modelos de ecuaciones elegidos y generados para el desarrollo de la presente investigación.

Tabla 11: Modelos de ecuación de biomasa con las que se trabajó.

N°	Nombre	Modelo
1	Berkhout	$B = b_0 + b_1 * dap$
2	Kopezky	$B = b_0 + b_1 * dap^2$
3		$B = b_0 + b_1 * dap^{1.5}$
4		$B = b_0 + b_1 * dap^{1.7}$
5		$B = b_0 + b_1 * dap^{2.5}$
6		$B = b_0 + b_1 * dap^{2.2}$
7		$B = b_0 + b_1 * dap^{2.1}$
8		$B = b_0 + b_1 * dap^{3.5}$
9		$B = b_0 + b_1 * dap^3$
10	Husch modificado	$B = b_0 + b_1 * \ln dap$
11		$B = b_0 + b_1 * \log dap$
12		$B = b_0 + b_1 * \log dap^2$
13		$B = b_0 + b_1 * \log dap^3$
14	Hohenadl - Krenn	$B = b_0 + b_1 * dap + b_2 * dap^2$
15		$B = b_0 + b_1 * dbase$
16		$B = b_0 + b_1 * dbase^2$
17		$B = b_0 + b_1 * dbase^3$
18		$B = b_0 + b_1 * dcopa$
19		$B = b_0 + b_1 * dcopa^2$
20		$B = b_0 + b_1 * dcopa^3$
21		$B = b_0 + b_1 * \ln dcopa$
22		$B = b_0 + b_1 * dcopa + b_2 * dcopa^2$
23		$B = b_0 + b_1 * hpto.copa$
24	Ruiz (2007)	$B = b_0 + b_1 * h$
25		$B = b_0 + b_1 * h^2$
26		$B = b_0 + b_1 * h^3$
27		$B = b_0 + b_1 * \ln h$
28		$B = b_0 + b_1 * h + b_2 * h^2$
29		$B = b_0 + b_1 * h^2 + b_2 * h^3$

Continuación:

N°	Nombre	Modelo
30		$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 \cdot \text{dcopa}$
31		$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot \text{dcopa}$
32	Ruiz (2007)	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} \cdot h$
33	Spurr, 1952	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$
34	Spurr, 1951	$B = b_1 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$
35	Ruiz (2007)	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot h$
36		$B = b_0 + b_1 \cdot \ln \text{dap} \cdot h$
37	Schumacher-Hall modificado	$B = b_0 + b_1 \cdot \ln \text{dap} + b_2 \cdot \ln h$
38	Ruiz (2007)	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 + b_2 \cdot h$
39	Ruiz (2007)	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} \cdot h + b_2 \cdot h$
40	Ruiz (2007)	$B = b_0 + b_1 \cdot h + b_2 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$
41	Ruiz (2007)	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$
42	Ruiz (2007)	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 + b_2 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$
43	Ruiz (2007)	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} \cdot h + b_2 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$
44		$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 + b_2 \cdot \text{dap} \cdot h$
45	Stoate	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 + b_2 \cdot \text{dap}^2 \cdot h + b_3 \cdot h$
46	Ruiz (2007)	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 + c \cdot \text{dap}^2 \cdot h + d \cdot \text{dap} \cdot h$
47	Ruiz (2007)	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot \text{dap}^2 + b_3 \cdot \text{dap} \cdot h$
48	Ruiz (2007)	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot \text{dap}^2 + b_3 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$
49	Ruiz (2007)	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot \text{dap} \cdot h + b_3 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$
50	Ruiz (2007)	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot \text{dap}^2 + b_3 \cdot h$
51		$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} \cdot h + b_2 \cdot \text{dap}^2 + b_3 \cdot h$
52	Ruiz (2007)	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot h + b_3 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$
53	Meyer (modificada)	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot \text{dap} \cdot h + b_3 \cdot \text{dap}^2 + b_4 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$
54	Ruiz (2007)	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot h + b_3 \cdot \text{dap}^2 + b_4 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$
55	Meyer (comprensiva)	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot \text{dap} \cdot h + b_3 \cdot \text{dap}^2 + b_4 \cdot h + b_5 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$
56	Naslund	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 + b_2 \cdot \text{dap}^2 \cdot h + b_3 \cdot \text{dap} \cdot h^2 + b_4 \cdot h^2$
57		$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^3 \cdot h$
58		$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^3 \cdot h^2$

Continuación:

N°	Nombre	Modelo
59		$B = b_0 + b_1 \text{dap}^2 * h^2$
60		$B = b_0 + b_1 \text{dcopa} * h$
61		$B = b_0 + b_1 * \text{dcopa}^2 * h$
62		$B = b_1 * \text{dcopa}^2 * h$
63		$B = b_0 + b_1 * \text{dcopa} + b_2 * h$
64		$B = b_0 + b_1 * \ln \text{dcopa} * h$
65		$B = b_0 + b_1 * \ln \text{dcopa} + b_2 * \ln h$
66		$B = b_0 + b_1 * \text{dcopa}^2 + b_2 * h$
67		$B = b_0 + b_1 * \text{dcopa} * h + b_2 * h$
68		$B = b_0 + b_1 * h + b_2 * \text{dcopa}^2 * h$
69		$B = b_0 + b_1 * \text{dcopa} + b_2 * \text{dcopa}^2 * h$
70		$B = b_0 + b_1 * \text{dcopa}^2 + b_2 * \text{dcopa}^2 * h$
71		$B = b_0 + b_1 * \text{dcopa} * h + b_2 * \text{dcopa}^2 * h$
72		$B = b_0 + b_1 * \text{dcopa}^2 + b_2 * \text{dcopa} * h$
73		$B = b_0 + b_1 * \text{dcopa}^2 + b_2 * \text{dcopa}^2 * h + b_3 * h$
74		$B = b_0 + b_1 * \text{dcopa}^2 + c * \text{dcopa}^2 * h + d * \text{dcopa} * h$
75		$B = b_0 + b_1 * \text{dcopa} + b_2 * \text{dcopa}^2 + b_3 * \text{dcopa} * h$
76		$B = b_0 + b_1 * \text{dcopa} + b_2 * \text{dcopa}^2 + b_3 * \text{dcopa}^2 * h$
77		$B = b_0 + b_1 * \text{dcopa} + b_2 * \text{dcopa} * h + b_3 * \text{dcopa}^2 * h$
78		$B = b_0 + b_1 * \text{dcopa} + b_2 * \text{dcopa}^2 + b_3 * h$
79		$B = b_0 + b_1 * \text{dcopa} * h + b_2 * \text{dcopa}^2 + b_3 * h$
80		$B = b_0 + b_1 * \text{dcopa} + b_2 * h + b_3 * \text{dcopa}^2 * h$
81		$B = b_0 + b_1 * \text{dcopa} + b_2 * \text{dcopa} * h + b_3 * \text{dcopa}^2 + b_4 * \text{dcopa}^2 * h$
82		$B = b_0 + b_1 * \text{dcopa} + b_2 * h + b_3 * \text{dcopa}^2 + b_4 * \text{dcopa}^2 * h$
83		$B = b_0 + b_1 * \text{dcopa} + b_2 * \text{dcopa} * h + b_3 * \text{dcopa}^2 + b_4 * h + b_5 * \text{dcopa}^2 * h$
84		$B = b_0 + b_1 * \text{dcopa}^2 + b_2 * \text{dcopa}^2 * h + b_3 * \text{dcopa} * h^2 + b_4 * h^2$
85		$B = b_0 + b_1 * \text{dap} * h + b_2 * \text{dcopa}$
86		$B = b_0 + b_1 * \text{dap}^2 * h + b_2 * \text{dcopa}$
87		$B = b_0 + b_1 * \text{dap}^3 * h + b_2 * \text{dcopa}$

Continuación:

N°	Nombre	Modelo
88		$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} \cdot h^2 + b_2 \cdot \text{dcopa}$
89		$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 \cdot h^2 + b_2 \cdot \text{dcopa}$
90		$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} \cdot h^3 + b_2 \cdot \text{dcopa}$
91		$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} \cdot h + b_2 \cdot \text{dcopa}^2$
92		$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} \cdot h + b_2 \cdot \text{dcopa}^3$
93		$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 + b_2 \cdot h \cdot \text{dcopa}$
94		$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot h \cdot \text{dcopa}$
95		$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot h^2 \cdot \text{dcopa}$
96		$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dcopa}^2 + b_2 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$
97		$B = b_0 + b_1 \cdot h^2 + b_2 \cdot h \cdot \text{dcopa}$
98		$B = b_0 + b_1 \cdot h^2 + b_2 \cdot h \cdot \text{dap}$
99		$B = b_0 + b_1 \cdot h + b_2 \cdot \text{dap} \cdot \text{dcopa}$
100		$B = b_0 + b_1 \cdot h^2 + b_2 \cdot \text{dap} \cdot \text{dcopa}$

* Para todos los modelos $\text{dap} = d_{1,3}$

FUENTE: Elaboración propia.

4.7. ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Cada uno de los 100 modelos propuestos fue sometido al procedimiento de regresión lineal.

A manera de ejemplo, en las Tablas 12, 13 y 14 se muestra los resultados del modelo 1:

$$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}.$$

Tabla 12: Estadísticas de regresión

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,89881215
Coefficiente de determinación R²	0,80786328
R² ajustado	0,80280705
Error típico	0,05213636
Observaciones	40

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 13: Análisis de varianza

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,4343027	0,43430267	159,775832	3,4799E-15
Residuos	38	0,1032916	0,00271820		
Total	39	0,5375943			

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 14: Determinación del intercepto y coeficiente de la ecuación

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-0,16482512	0,0283221	-5,81965039	1,00641E-06	-0,22216	-0,107489
dap	0,01738135	0,0013750	12,64024650	3,47995E-15	0,01459	0,020165

FUENTE: Elaboración propia.

Por lo tanto, tomando en cuenta los coeficientes de la Tabla 14, se obtiene la siguiente ecuación para el modelo 1: $B = -0.16482512 + 0.01738135 \cdot \text{dap}$. El mismo procedimiento y similares resultados se obtuvieron para los demás modelos.

4.7.1. COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (R^2)

La Tabla 15 muestra las 100 ecuaciones obtenidas, su respectivo R^2 y su condición de rechazo o aceptación.

Tabla 15: Ecuaciones y Coeficientes de Determinación

Modelo	Ecuaciones	R^2	Condición
1	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}$	0,81	Aceptado
2	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2$	0,83	Aceptado
3	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^{1,5}$	0,82	Aceptado
4	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^{1,7}$	0,83	Aceptado
5	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^{2,5}$	0,81	Aceptado
6	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^{2,2}$	0,82	Aceptado
7	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^{2,1}$	0,82	Aceptado
8	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^{3,5}$	0,76	Aceptado
9	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^3$	0,79	Aceptado

Continuación:

Modelo	Ecuaciones	R²	Condición
10	$B = b_0 + b_1 \cdot \ln \text{dap}$	0,74	Aceptado
11	$B = b_0 + b_1 \cdot \log \text{dap}$	0,74	Aceptado
12	$B = b_0 + b_1 \cdot \log \text{dap}^2$	0,74	Aceptado
13	$B = b_0 + b_1 \cdot \log \text{dap}^3$	0,74	Aceptado
14	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot \text{dap}^2$	0,83	Aceptado
15	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dbase}$	0,55	Rechazado
16	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dbase}^2$	0,57	Rechazado
17	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dbase}^3$	0,56	Rechazado
18	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dcopa}$	0,75	Aceptado
19	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dcopa}^2$	0,78	Aceptado
20	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dcopa}^3$	0,78	Aceptado
21	$B = b_0 + b_1 \cdot \ln \text{dcopa}$	0,70	Aceptado
22	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dcopa} + b_2 \cdot \text{dcopa}^2$	0,79	Aceptado
23	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{hpto, copa}$	0,05	Rechazado
24	$B = b_0 + b_1 \cdot h$	0,54	Rechazado
25	$B = b_0 + b_1 \cdot h^2$	0,59	Rechazado
26	$B = b_0 + b_1 \cdot h^3$	0,62	Rechazado
27	$B = b_0 + b_1 \cdot \ln h$	0,46	Rechazado
28	$B = b_0 + b_1 \cdot h + b_2 \cdot h^2$	0,62	Rechazado
29	$B = b_0 + b_1 \cdot h^2 + b_2 \cdot h^3$	0,63	Rechazado
30	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 \cdot \text{dcopa}$	0,84	Aceptado
31	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot \text{dcopa}$	0,90	Aceptado
32	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} \cdot h$	0,81	Aceptado
33	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$	0,81	Aceptado
34	$B = b_1 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$	0,91	Aceptado
35	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot h$	0,82	Aceptado
36	$B = b_0 + b_1 \cdot \ln \text{dap} \cdot h$	0,70	Aceptado
37	$B = b_0 + b_1 \cdot \ln \text{dap} + b_2 \cdot \ln h$	0,76	Aceptado
38	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 + b_2 \cdot h$	0,83	Aceptado
39	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} \cdot h + b_2 \cdot h$	0,83	Aceptado

Continuación:

Modelo	Ecuaciones	R²	Condición
40	$B = b_0 + b_1 \cdot h + b_2 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$	0,81	Aceptado
41	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$	0,83	Aceptado
42	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 + b_2 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$	0,83	Aceptado
43	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} \cdot h + b_2 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$	0,82	Aceptado
44	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 + b_2 \cdot \text{dap} \cdot h$	0,83	Aceptado
45	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 + b_2 \cdot \text{dap}^2 \cdot h + b_3 \cdot h$	0,83	Aceptado
46	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 + c \cdot \text{dap}^2 \cdot h + d \cdot \text{dap} \cdot h$	0,83	Aceptado
47	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot \text{dap}^2 + b_3 \cdot \text{dap} \cdot h$	0,83	Aceptado
48	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot \text{dap}^2 + b_3 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$	0,83	Aceptado
49	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot \text{dap} \cdot h + b_3 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$	0,83	Aceptado
50	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot \text{dap}^2 + b_3 \cdot h$	0,83	Aceptado
51	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} \cdot h + b_2 \cdot \text{dap}^2 + b_3 \cdot h$	0,83	Aceptado
52	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot h + b_3 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$	0,83	Aceptado
53	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot \text{dap} \cdot h + b_3 \cdot \text{dap}^2 + b_4 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$	0,84	Aceptado
54	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot h + b_3 \cdot \text{dap}^2 + b_4 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$	0,83	Aceptado
55	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot \text{dap} \cdot h + b_3 \cdot \text{dap}^2 + b_4 \cdot h + b_5 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$	0,84	Aceptado
56	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 + b_2 \cdot \text{dap}^2 \cdot h + b_3 \cdot \text{dap} \cdot h^2 + b_4 \cdot h^2$	0,83	Aceptado
57	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^3 \cdot h$	0,76	Aceptado
58	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^3 \cdot h^2$	0,72	Aceptado
59	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 \cdot h^2$	0,77	Aceptado
60	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dcopa} \cdot h$	0,78	Aceptado
61	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dcopa}^2 \cdot h$	0,80	Aceptado
62	$B = b_1 \cdot \text{dcopa}^2 \cdot h$	0,94	Aceptado
63	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dcopa} + b_2 \cdot h$	0,77	Aceptado
64	$B = b_0 + b_1 \cdot \ln \text{dcopa} \cdot h$	0,71	Aceptado
65	$B = b_0 + b_1 \cdot \ln \text{dcopa} + b_2 \cdot \ln h$	0,71	Aceptado
66	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dcopa}^2 + b_2 \cdot h$	0,80	Aceptado
67	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dcopa} \cdot h + b_2 \cdot h$	0,80	Aceptado
68	$B = b_0 + b_1 \cdot h + b_2 \cdot \text{dcopa}^2 \cdot h$	0,80	Aceptado
69	$B = b_0 + b_1 \cdot \text{dcopa} + b_2 \cdot \text{dcopa}^2 \cdot h$	0,81	Aceptado

Continuación:

Modelo	Ecuaciones	R2	Condición
70	$B = b_0 + b_1 \cdot dcopa_2 + b_2 \cdot dcopa_2 \cdot h$	0,80	Aceptado
71	$B = b_0 + b_1 \cdot dcopa \cdot h + b_2 \cdot dcopa_2 \cdot h$	0,80	Aceptado
72	$B = b_0 + b_1 \cdot dcopa_2 + b_2 \cdot dcopa \cdot h$	0,80	Aceptado
73	$B = b_0 + b_1 \cdot dcopa_2 + b_2 \cdot dcopa_2 \cdot h + b_3 \cdot h$	0,80	Aceptado
74	$B = b_0 + b_1 \cdot dcopa_2 + c \cdot dcopa_2 \cdot h + d \cdot dcopa \cdot h$	0,80	Aceptado
75	$B = b_0 + b_1 \cdot dcopa + b_2 \cdot dcopa_2 + b_3 \cdot dcopa \cdot h$	0,80	Aceptado
76	$B = b_0 + b_1 \cdot dcopa + b_2 \cdot dcopa_2 + b_3 \cdot dcopa_2 \cdot h$	0,81	Aceptado
77	$B = b_0 + b_1 \cdot dcopa + b_2 \cdot dcopa \cdot h + b_3 \cdot dcopa_2 \cdot h$	0,81	Aceptado
78	$B = b_0 + b_1 \cdot dcopa + b_2 \cdot dcopa_2 + b_3 \cdot h$	0,80	Aceptado
79	$B = b_0 + b_1 \cdot dcopa \cdot h + b_2 \cdot dcopa_2 + b_3 \cdot h$	0,80	Aceptado
80	$B = b_0 + b_1 \cdot dcopa + b_2 \cdot h + b_3 \cdot dcopa_2 \cdot h$	0,81	Aceptado
81	$B = b_0 + b_1 \cdot dcopa + b_2 \cdot dcopa \cdot h + b_3 \cdot dcopa_2 + b_4 \cdot dcopa_2 \cdot h$	0,81	Aceptado
82	$B = b_0 + b_1 \cdot dcopa + b_2 \cdot h + b_3 \cdot dcopa^2 + b_4 \cdot dcopa_2 \cdot h$	0,81	Aceptado
83	$B = b_0 + b_1 \cdot dcopa + b_2 \cdot dcopa \cdot h + b_3 \cdot dcopa^2 + b_4 \cdot h + b_5 \cdot dcopa_2 \cdot h$	0,81	Aceptado
84	$B = b_0 + b_1 \cdot dcopa^2 + b_2 \cdot dcopa^2 \cdot h + b_3 \cdot dcopa \cdot h^2 + b_4 \cdot h^2$	0,80	Aceptado
85	$B = b_0 + b_1 \cdot dap \cdot h + b_2 \cdot dcopa$	0,86	Aceptado
86	$B = b_0 + b_1 \cdot dap^2 \cdot h + b_2 \cdot dcopa$	0,87	Aceptado
87	$B = b_0 + b_1 \cdot dap^3 \cdot h + b_2 \cdot dcopa$	0,85	Aceptado
88	$B = b_0 + b_1 \cdot dap \cdot h^2 + b_2 \cdot dcopa$	0,84	Aceptado
89	$B = b_0 + b_1 \cdot dap^2 \cdot h^2 + b_2 \cdot dcopa$	0,85	Aceptado
90	$B = b_0 + b_1 \cdot dap \cdot h^3 + b_2 \cdot dcopa$	0,83	Aceptado
91	$B = b_0 + b_1 \cdot dap \cdot h + b_2 \cdot dcopa^2$	0,87	Aceptado
92	$B = b_0 + b_1 \cdot dap \cdot h + b_2 \cdot dcopa^3$	0,86	Aceptado
93	$B = b_0 + b_1 \cdot dap^2 + b_2 \cdot h \cdot dcopa$	0,87	Aceptado
94	$B = b_0 + b_1 \cdot dap + b_2 \cdot h \cdot dcopa$	0,87	Aceptado
95	$B = b_0 + b_1 \cdot dap + b_2 \cdot h^2 \cdot dcopa$	0,85	Aceptado
96	$B = b_0 + b_1 \cdot dcopa^2 + b_2 \cdot dap^2 \cdot h$	0,86	Aceptado
97	$B = b_0 + b_1 \cdot h^2 + b_2 \cdot h \cdot dcopa$	0,80	Aceptado
98	$B = b_0 + b_1 \cdot h^2 + b_2 \cdot h \cdot dap$	0,83	Aceptado
99	$B = b_0 + b_1 \cdot h + b_2 \cdot dap \cdot dcopa$	0,89	Aceptado
100	$B = b_0 + b_1 \cdot h^2 + b_2 \cdot dap \cdot dcopa$	0,90	Aceptado

FUENTE: Elaboración propia.

La principal observación es que las ecuaciones N° 15, 16 y 17, que representan al diámetro de base como única variable independiente ($B = b_0 + b_1 * dbase$; $B = b_0 + b_1 * dbase^2$; $B = b_0 + b_1 * dbase^3$), poseen un R^2 inferior a 0,70 ($R^2 = 0,55$; $0,57$ y $0,56$ respectivamente), por lo que éstas fueron eliminadas para posteriores análisis.

La ecuación N° 23, que representa a la altura al punto de la copa como única variable independiente ($B = b_0 + b_1 * hpto.copa$), posee un R^2 inferior a 0,70 ($R^2 = 0,05$), por lo que también es eliminado para posteriores análisis.

Del mismo modo las ecuaciones N° 24, 25, 26, 27, 28 y 29, que representan a la altura total como única variable independiente ($B = b_0 + b_1 * h$; $B = b_0 + b_1 * h^2$; $B = b_0 + b_1 * h^3$; $B = b_0 + b_1 * \ln h$; $B = b_0 + b_1 * h + b_2 * h^2$; $B = b_0 + b_1 * h^2 + b_2 * h^3$), poseen un R^2 inferior a 0,70 ($R^2 = 0,54$; $0,59$; $0,62$; $0,46$; $0,62$ y $0,63$ respectivamente), por lo que éstas también fueron eliminadas para posteriores análisis.

De acuerdo a esto se podría decir que si bien la altura total es un factor importante para la determinación del volumen y por ende de la biomasa; ésta por sí sola no determina con precisión la biomasa de un árbol puesto que la biomasa es explicada por la altura total en menos del 63 por ciento; lo mismo se aplica para las variables: diámetro de la base ($dbase$) y altura al punto de la copa ($hpto.copa$).

Los 90 modelos restantes presentan un buen ajuste, el que se ve reflejado en los coeficientes de determinación (entre 0,70 y 0,94), obteniendo los mejores valores en las ecuaciones con una mayor cantidad de variables independientes. Barrena *et al.* (1986) explican que es lógico que R^2 aumente con el número de variables independientes utilizadas, puesto que la variabilidad de la variable dependiente es explicada entonces por un mayor número de variables; pero esto no significa que la estimación de la variable dependiente sea mejor. Por otro lado, Acuña (2013) considera que un R^2 mayor a 0,70 indica una buena asociación lineal entre las variables y se considera un modelo de regresión bastante aceptable.

4.7.2. PRUEBA ESTADÍSTICA FISHER (F)

Los resultados obtenidos mediante la prueba de Fisher (F) son los que se observan en la Tabla 16.

Tabla 16: Prueba estadística F.

<i>Modelo</i>	<i>Estadístico F</i>		<i>Condición</i>	<i>Modelo</i>	<i>Estadístico F</i>		<i>Condición</i>
	F	p-valor			F	p-valor	
1	159,78	3,48E-15	Aceptado	56	43,38	4,25E-13	Aceptado
2	179,15	5,83E-16	Aceptado	57	120,62	2,37E-13	Aceptado
3	176,89	7,13E-16	Aceptado	58	96,87	5,30E-12	Aceptado
4	179,77	5,53E-16	Aceptado	59	129,07	8,77E-14	Aceptado
5	166,54	1,83E-15	Aceptado	60	131,50	6,65E-14	Aceptado
6	175,63	7,98E-16	Aceptado	61	154,27	5,97E-15	Aceptado
7	177,68	6,65E-16	Aceptado	62	562,12	2,25E-24	Aceptado
8	122,50	1,89E-13	Aceptado	63	61,36	1,78E-12	Aceptado
9	145,35	1,48E-14	Aceptado	64	94,00	8,01E-12	Aceptado
10	108,34	1,11E-12	Aceptado	65	45,77	9,89E-11	Aceptado
11	108,34	1,11E-12	Aceptado	66	72,04	1,74E-13	Aceptado
12	108,34	1,11E-12	Aceptado	67	75,19	9,26E-14	Aceptado
13	108,34	1,11E-12	Aceptado	68	75,17	9,29E-14	Aceptado
14	87,58	9,30E-15	Aceptado	69	76,42	7,27E-14	Aceptado
18	116,82	3,77E-13	Aceptado	70	76,08	7,78E-14	Aceptado
19	137,91	3,27E-14	Aceptado	71	75,13	9,37E-14	Aceptado
20	137,74	3,33E-14	Aceptado	72	73,60	1,27E-13	Aceptado
21	88,15	1,91E-11	Aceptado	73	49,40	7,63E-13	Aceptado
22	68,26	3,83E-13	Aceptado	74	49,43	7,57E-13	Aceptado
30	199,92	1,02E-16	Aceptado	75	48,88	8,90E-13	Aceptado
31	161,08	5,48E-19	Aceptado	76	49,59	7,23E-13	Aceptado
32	160,79	3,15E-15	Aceptado	77	49,57	7,26E-13	Aceptado
33	163,54	2,43E-15	Aceptado	78	48,28	1,06E-12	Aceptado
34	418,32	4,14E-22	Aceptado	79	48,77	9,17E-13	Aceptado
35	81,96	2,55E-14	Aceptado	80	49,57	7,26E-13	Aceptado
36	90,61	1,32E-11	Aceptado	81	36,40	5,10E-12	Aceptado
37	57,25	4,73E-12	Aceptado	82	36,27	5,36E-12	Aceptado
38	91,99	4,38E-15	Aceptado	83	28,46	3,06E-11	Aceptado

Continuación:

Modelo	Estadístico F		Condición	Modelo	Estadístico F		Condición
	F	p-valor			F	p-valor	
39	88,41	8,05E-15	Aceptado	84	36,04	5,85E-12	Aceptado
40	79,89	3,74E-14	Aceptado	85	118,01	8,76E-17	Aceptado
41	90,10	6,02E-15	Aceptado	86	125,34	3,33E-17	Aceptado
42	87,92	8,77E-15	Aceptado	87	105,98	4,82E-16	Aceptado
43	83,23	2,02E-14	Aceptado	88	98,09	1,62E-15	Aceptado
44	91,56	4,71E-15	Aceptado	89	103,60	6,89E-16	Aceptado
45	59,85	4,58E-14	Aceptado	90	88,99	7,29E-15	Aceptado
46	59,66	4,80E-14	Aceptado	91	120,26	6,47E-17	Aceptado
47	59,45	5,07E-14	Aceptado	92	116,14	1,13E-16	Aceptado
48	58,44	6,53E-14	Aceptado	93	120,88	5,96E-17	Aceptado
49	58,74	6,05E-14	Aceptado	94	121,75	5,31E-17	Aceptado
50	59,72	4,73E-14	Aceptado	95	106,80	4,27E-16	Aceptado
51	59,69	4,77E-14	Aceptado	96	118,28	8,44E-17	Aceptado
52	58,83	5,93E-14	Aceptado	97	73,81	1,22E-13	Aceptado
53	44,28	3,15E-13	Aceptado	98	92,25	4,19E-15	Aceptado
54	43,74	3,77E-13	Aceptado	99	156,82	8,55E-19	Aceptado
55	34,66	2,05E-12	Aceptado	100	157,95	7,59E-19	Aceptado

FUENTE: Elaboración propia.

Da Cunha (2009) expresa que cuanto mayor es la variación explicada por el modelo y menor es la variación por el error, mayor será el valor de F indicando que el modelo tiene un buen ajuste.

Es importante mencionar que no se rechazó ninguna ecuación, ya que las 90 ecuaciones son significativas al 95 por ciento de confianza. Esto se determinó porque el p-valor presentó un valor inferior a 0,05 en todos los casos; por lo que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula (H_0), afirmando que sí existe una regresión lineal de “y” en función de “x”.

4.7.3. PRUEBA ESTADÍSTICA T – STUDENT (T)

Los resultados de probabilidad de ocurrencia (p-valor) del estadístico t de cada coeficiente estimado y su condición de aceptación o rechazo se observan en la Tabla 17.

Tabla 17: Prueba estadística t-Student

<i>Modelo</i>	<i>p-valor (t-Student)</i>					<i>Condición</i>
	<i>b1</i>	<i>b2</i>	<i>b3</i>	<i>b4</i>	<i>b5</i>	
1	3,48E-15					Aceptado
2	5,83E-16					Aceptado
3	7,13E-16					Aceptado
4	5,53E-16					Aceptado
5	1,83E-15					Aceptado
6	7,98E-16					Aceptado
7	6,65E-16					Aceptado
8	1,89E-13					Aceptado
9	1,48E-14					Aceptado
10	1,11E-12					Aceptado
11	1,11E-12					Aceptado
12	1,11E-12					Aceptado
13	1,11E-12					Aceptado
14	0,724633472	0,060027289				Rechazado
18	3,77E-13					Aceptado
19	3,27E-14					Aceptado
20	3,33E-14					Aceptado
21	1,91E-11					Aceptado
22	0,49018084	0,023416684				Rechazado
30	1,02E-16					Aceptado
31	1,78E-08	1,83E-06				Aceptado
32	3,15E-15					Aceptado
33	2,43E-15					Aceptado
34	1,88E-22					Aceptado
35	6,56E-09	0,213410557				Rechazado
36	1,32E-11					Aceptado
37	6,89E-08	0,134794167				Rechazado
38	1,10E-09	0,204423441				Rechazado
39	2,04E-09	0,056646174				Rechazado

Continuación:

Modelo	p-valor (t-Student)					Condición
	b1	b2	b3	b4	b5	
40	0,75217138	9,71E-09				Rechazado
41	0,05423552	0,036053725				Rechazado
42	0,08519286	0,624584416				Rechazado
43	0,25057209	0,177130089				Rechazado
44	0,03028335	0,225670513				Rechazado
45	0,04018649	0,762277204	0,23259102			Rechazado
46	0,08704572	0,712769163	0,24874525			Rechazado
47	0,86555014	0,235664601	0,24779425			Rechazado
48	0,39547822	0,997598886	0,36104470			Rechazado
49	0,11601941	0,698125686	0,30428323			Rechazado
50	0,87286602	0,064987216	0,22514479			Rechazado
51	0,92353065	0,277609223	0,70060839			Rechazado
52	0,05444327	0,661199265	0,08533216			Rechazado
53	0,47458367	0,293728988	0,32813176	0,43286000		Rechazado
54	0,79630336	0,386564249	0,45302886	0,71773550		Rechazado
55	0,43795081	0,463459672	0,30751783	0,65876043	0,41823893	Rechazado
56	0,07420979	0,909905503	0,76549258	0,55975597		Rechazado
57	2,37E-13					Aceptado
58	5,30E-12					Aceptado
59	8,77E-14					Aceptado
60	6,65E-14					Aceptado
61	5,97E-15					Aceptado
62	8,98E-25					Aceptado
63	4,99E-07	0,146253087				Rechazado
64	8,01E-12					Aceptado
65	1,55E-06	0,198296334				Rechazado
66	4,65E-08	0,153991183				Rechazado
67	2,44E-08	0,031356058				Aceptado
68	0,87395499	2,45E-08				Rechazado
69	0,47591848	0,003714973				Rechazado
70	0,53970250	0,056957132				Rechazado
71	0,92597795	0,031778523				Rechazado

Continuación:

Modelo	p-valor (t-Student)					Condición
	b1	b2	b3	b4	b5	
72	0,04519616	0,103078191				Rechazado
73	0,54041718	0,208581164	0,85487395			Rechazado
74	0,52465630	0,320405535	0,82776706			Rechazado
75	0,41399882	0,107737440	0,09493081			Rechazado
76	0,70941666	0,918881329	0,07362485			Rechazado
77	0,48507739	0,968684251	0,08378777			Rechazado
78	0,33589892	0,020331587	0,11830799			Rechazado
79	0,27031438	0,960445245	0,43579615			Rechazado
80	0,49258086	0,973785021	0,01325489			Rechazado
81	0,59997755	0,666198322	0,65906327	0,44396526		Rechazado
82	0,66215145	0,766115728	0,75483526	0,36294919		Rechazado
83	0,52086364	0,611055304	0,55329084	0,68561849	0,45288463	Rechazado
84	0,61364771	0,864266120	0,87684385	0,91219885		Rechazado
85	3,20E-06	0,000394371				Aceptado
86	1,18E-06	0,000185910				Aceptado
87	1,86E-05	2,97E-05				Aceptado
88	6,57E-05	0,000335110				Aceptado
89	2,70E-05	0,000117160				Aceptado
90	0,00031818	0,000133654				Aceptado
91	2,69E-05	0,000286608				Aceptado
92	4,71E-05	0,000516122				Aceptado
93	1,21E-05	0,001488925				Aceptado
94	1,08E-05	0,000210582				Aceptado
95	2,08E-05	0,001925846				Aceptado
96	0,00049618	3,54E-05				Aceptado
97	0,04303015	3,15E-07				Aceptado
98	0,02652639	1,02E-08				Aceptado
99	0,87651940	1,96E-13				Rechazado
100	0,61134594	1,65E-12				Rechazado

FUENTE: Elaboración propia.

Los resultados muestran la probabilidad de que el valor obtenido para t ocurra por azar, dentro de una situación en el que los coeficientes seas iguales a cero y se le conoce como **valor p** o **p-value** en inglés (Vélez, 2013). Bajo este supuesto y con un nivel de confianza del 95 por ciento, se rechazaron 45 ecuaciones que presentaron un p-valor mayor a 0,05 en sus coeficientes estimados, ya que no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la

hipótesis nula ($H_0: b \neq 0$); es decir, que no se demuestra que los coeficientes son estadísticamente igual a cero y por lo tanto que el modelo planteado exista. De esta manera, solo 45 ecuaciones fueron aceptadas para los análisis estadísticos posteriores.

Con estos resultados se confirma lo mencionado por Uriel (2013), que cuando las ecuaciones solo presentan una variable independiente, los valores de probabilidades de t y F son exactamente las mismas, siempre y cuando la hipótesis alternativa sea de dos colas. Esta afirmación se cumple en 17 ecuaciones (1,2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 18, 19, 20 y 21); que son aquellas que solo presentan una variable independiente.

4.7.4. ANÁLISIS DE RESIDUOS

Del análisis de residuos de las 45 ecuaciones seleccionadas, solo la ecuación N° 32 ($B = -0.026290753618204 + 0.00165200243895647 *d_{1,3}*h$) presentó igualdad de variancias, es decir, es la única ecuación que presenta homocedasticidad, como se muestra en la Figura 38.

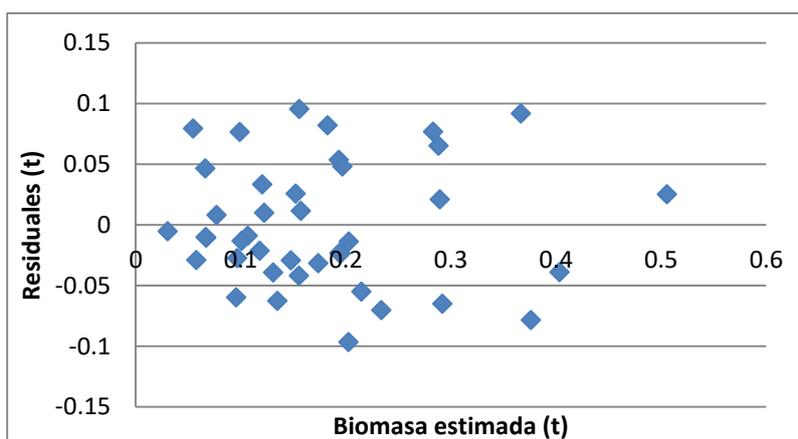


Figura 38: Análisis de residuos del modelo 32: $B = b_0 + b_1*d_{1,3}*h$ (Homocedástica)

FUENTE: Elaboración propia.

Las 44 ecuaciones restantes presentan heterocedasticidad, los que se muestran en el Anexo 3. Estos resultados indican que debe realizarse una regresión ponderada a estas 44 ecuaciones para obtener además de un buen ajuste, las inferencias estadísticas de la ecuación, tal como lo recomienda Barrena (1988).

Además, Cunia (1964), señala que una de las formas para lograr la homogeneidad de variancias es aplicando la regresión ponderada basada en los Mínimos Cuadrados

Ponderados; con lo cual se mejora la precisión de la estimación del volumen y por ende la estimación de biomasa.

Montgomery, *et al.* (2006) señalan que existen tipos frecuentes de inadecuaciones del modelo. En los resultados de la presente investigación se puede observar solo el patrón: “no lineal” como se muestra en la Figura 39, presenta una tendencia en forma de “v” que indica no linealidad, lo que podría indicar que se necesita de otras variables independientes en el modelo.

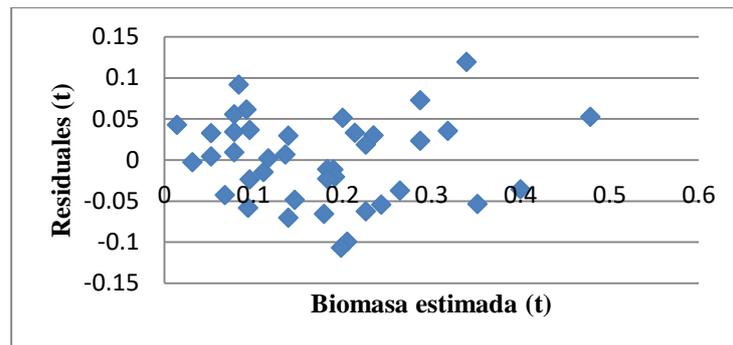


Figura 39: Análisis de residuos del modelo 1: $B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}$

FUENTE: Elaboración propia.

Así mismo, si bien no se identificaron patrones definidos como el de doble arco o el de puntos con tendencias hacia ambos lados del eje “x”, si se identificaron algunas tendencias marcadas en el análisis de residuos de las ecuaciones restantes; como se muestra en la Figura 40 por ejemplo.

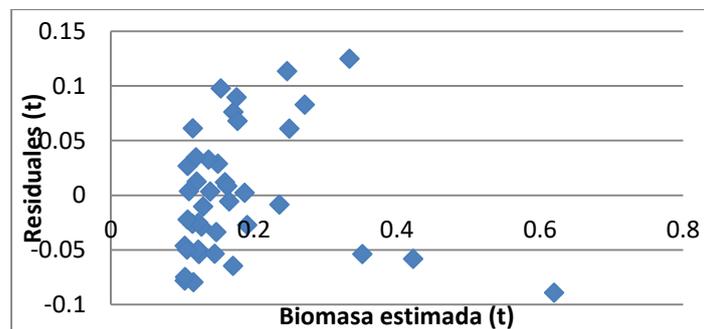


Figura 40: Análisis de residuos del modelo 57: $B = b_0 + b_1 \text{dap}^3 \cdot h$

FUENTE: Elaboración propia.

4.8. ANÁLISIS DE REGRESIÓN PONDERADA

Haciendo uso de los diferentes factores señalados en la metodología, los nuevos modelos fueron sometidos al procedimiento de regresión ponderada y con ello se obtuvieron 1 625 nuevas ecuaciones. De estas, 221 corresponden a ecuaciones de una variable, 756 corresponden a ecuaciones de dos variables y 648 corresponden a ecuaciones de tres variables.

Cabe mencionar que a diferencia de lo propuesto por Barrena (1988), Bautista (2000) y Ruiz (2007), que solo utilizan cuatro factores de ponderación para todos sus modelos de ecuaciones ($1/dap^2$; $1/dap^4$; $1/dap^2h$ y $1/dap^4h^2$), en la presente investigación se utilizaron tantos factores de ponderación como fuera necesario, es decir, se fue probando pesos que contenían las variables independientes elevadas a diferentes exponentes, hasta encontrar aquel valor que logró homogenizar las varianzas de los residuos.

Del total de las nuevas ecuaciones mostradas en el Anexo 4, de acuerdo al coeficiente de determinación (R^2) se eliminaron 83 ecuaciones y se aceptaron 1 542 ecuaciones; de acuerdo a la prueba F, se aceptaron las 1 542 ecuaciones y de acuerdo a la prueba t-Student, se eliminaron 349 ecuaciones y se aceptaron 1193 ecuaciones; de las cuales solo tres ecuaciones fueron homocedásticas (Tabla 18).

El análisis de residuos fue determinante para seleccionar los modelos que cumplen con la homogeneidad de varianzas (homocedasticidad). Así, las ecuaciones ponderadas de los modelos 1, 3, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 18, 20, 21, 34, 58, 59, 62, 85, 86, 7, 88, 89, 91 y 93 fueron rechazadas en su totalidad, ya que, a pesar de cumplir con los parámetros anteriormente analizados, no lograron homogenizar la varianza de sus residuos con ningún factor de ponderación.

En la Tabla 18, se muestra las ecuaciones elegidas por cada modelo con su correspondiente factor de ponderación y que presentaron homocedasticidad.

Tabla 18: Ecuaciones ponderadas seleccionadas

N°	Ecuación ponderada	Factor de ponderación (1/K)	Estadístico F		p-valor (t-Student)	Homocedasticidad	Condición
			F	P-valor			
31	$\frac{B}{dap^{0,5}} = \frac{0,955304}{dap^{0,5}} + \frac{0,992629 dap}{dap^{0,5}} + \frac{0,954833 dcopa}{dap^{0,5}}$	1/dap ^{0.5}	319,712	5,41E-26	**	Si	Aceptado
94	$\frac{B}{dap^{0,5}} = \frac{0,955835}{dap^{0,5}} + \frac{0,990211 dap}{dap^{0,5}} + \frac{0,962665 h * dcopa}{dap^{0,5}}$	1/dap ^{0.5}	244,163	5,64E-24	**	Si	Aceptado
95	$\frac{B}{dcopa^{0,5}} = \frac{0,978416}{dcopa^{0,5}} + \frac{0,958945 dap}{dcopa^{0,5}} + \frac{1,054793 h^2 * dcopa}{dcopa^{0,5}}$	1/dcopa ^{0.5}	218,787	3,68E-23	**	Si	Aceptado

** Alto nivel de significancia (p-valor <0,05)

FUENTE: Elaboración propia.

Las ecuaciones ponderadas de los modelos 31, 94 y 95 lograron homogenizar las varianzas de sus residuos con los pesos mostrados en la Tabla 18, asimismo cumplen con el método de los mínimos cuadrados.

El análisis de residuos de éstas tres ecuaciones homocedásticas se muestran en las Figuras 41, 42 y 43.

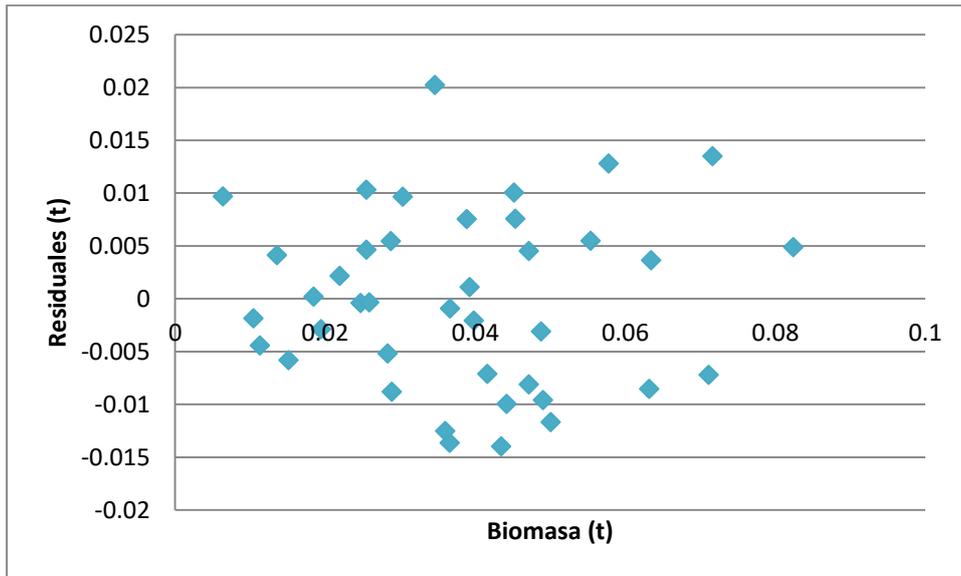


Figura 41: Modelo 31 ponderado con factor de ponderación $dap^{0,5}$

FUENTE: Elaboración propia.

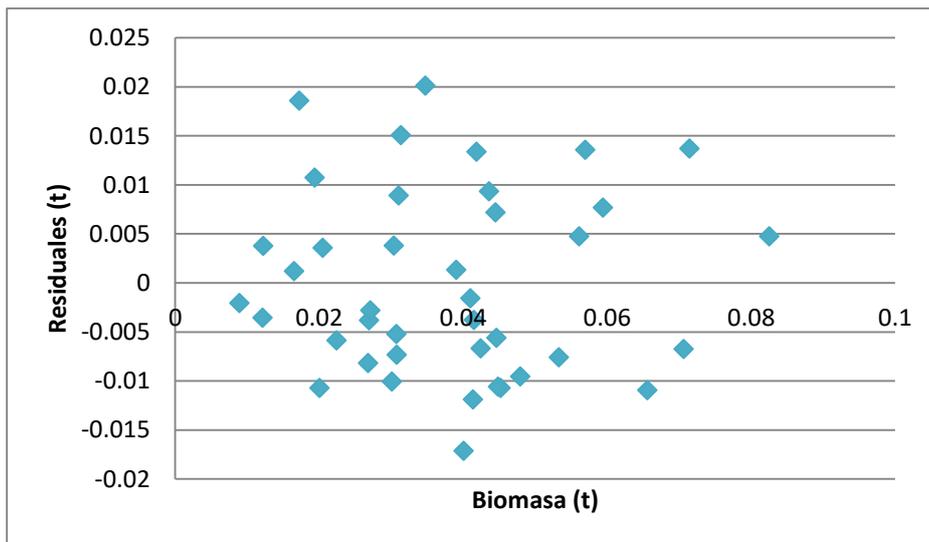


Figura 42: Modelo 94 ponderado con factor de ponderación $dap^{0,5}$

FUENTE: Elaboración propia.

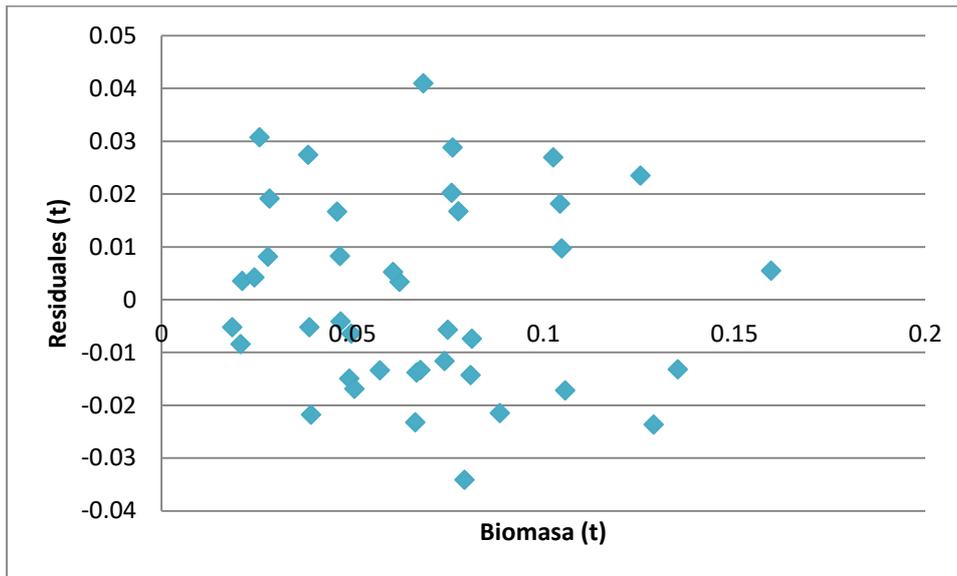


Figura 43: Modelo 95 ponderado con factor de ponderación $dcopa^{0,5}$

FUENTE: Elaboración propia.

En las tres ecuaciones, el valor crítico de F o p-valor es inferior a 0,05 por lo que se determina que a un 95 por ciento de confianza, existe suficiente estadística para rechazar la hipótesis nula (H_0), afirmando que si existe significancia de las variables de regresión.

De la misma manera, el p-valor (estadístico t) de los coeficientes estimados de las ecuaciones elegidas es inferior a 0,05; por lo que se afirma que a un 95 por ciento de confianza, existe suficiente estadística para rechazar la hipótesis nula (H_0), afirmando que los coeficientes estimados de las tres ecuaciones son estadísticamente diferentes de cero.

Es importante mencionar que en el presente estudio no se cumple con lo propuesto por la FAO (1981), que hace referencia a que el factor de ponderación más adecuado (cuando el volumen y por ende la biomasa está en función del dap y de la altura) suele ser el dap al cuadrado por la altura, todo elevado al cuadrado $(1/dap^2h)^2$, ya que en ningún caso este factor de ponderación logró ser el más óptimo dentro de cada modelo. Además, la referencia que hace la FAO (1891) se aplica a árboles maderables, cuyos fustes son rectos; a diferencia de los árboles de *P. flavipila*.

Por otro lado, Barrena (1988) menciona que el factor de ponderación cambia de acuerdo a como el volumen y/o biomasa se relaciona con las variables explicativas, por lo que se puede inferir que los datos de este trabajo en su mayoría, responden mejor a ecuaciones ponderadas con un peso de $1/dap^{0,5}$ y $1/dcopa^{0,5}$.

4.9. ELECCIÓN DE LA MEJOR ECUACIÓN

Para elegir la mejor ecuación, se calculó y comparó el Índice de Furnival (IF) de las cuatro ecuaciones escogidas anteriormente: una sin ponderar (ecuación N° 32) y tres ponderadas (ecuación N° 31, 94 y 95), y se seleccionó aquella que presentó el menor IF.

Los resultados se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19: Índice de Furnival para la elección de la mejor ecuación.

N°	Ecuación	$s = \sqrt{CME}$	$\text{antilog} (1/n^* \sum \log p)$	$IF = s * \text{antilog} (1/n^* \sum \log p)$
32	$B = -0,026291 + 0,001652 \text{ dap} * h$	0,00270426		0,002704268
31	$\frac{B}{\text{dap}^{0,5}} = \frac{0,955304}{\text{dap}^{0,5}} + \frac{0,992629 \text{ dap}}{\text{dap}^{0,5}} + \frac{0,954833 \text{ dcopa}}{\text{dap}^{0,5}}$	0,0085729	4,341661659	0,037220763
94	$\frac{B}{\text{dap}^{0,5}} = \frac{0,955835}{\text{dap}^{0,5}} + \frac{0,990211 \text{ dap}}{\text{dap}^{0,5}} + \frac{0,962665 \text{ h} * \text{dcopa}}{\text{dap}^{0,5}}$	0,0097541	4,341661659	0,042349003
95	$\frac{B}{\text{dcopa}^{0,5}} = \frac{0,978416}{\text{dcopa}^{0,5}} + \frac{0,958945 \text{ dap}}{\text{dcopa}^{0,5}} + \frac{1,054793 \text{ h}^2 * \text{dcopa}}{\text{dcopa}^{0,5}}$	0,0186064	2,467340886	0,045908431

FUENTE: Elaboración propia.

En los resultados se muestra que el menor IF (0,002704268) pertenece a la ecuación N° 32, ecuación que no fue ponderada.

De esta manera, se obtuvo la ecuación que estima mejor la biomasa de los individuos de *Polylepis flavipila* del bosque Japaní, la cual es la siguiente:

$$B = -0,026291 + 0,001652 \text{ dap} * h$$

donde: B es la biomasa, dap es el diámetro medido a 1,3 m de altura a partir del nivel del suelo y h es la altura total.

Para corroborar la precisión de la ecuación elegida, se realizó un análisis comparativo de las biomasa estimada versus las biomasa reales, las que se muestran en las Figuras 44 y 45. Se observa que ambos valores de biomasa presentan tendencias lineales.

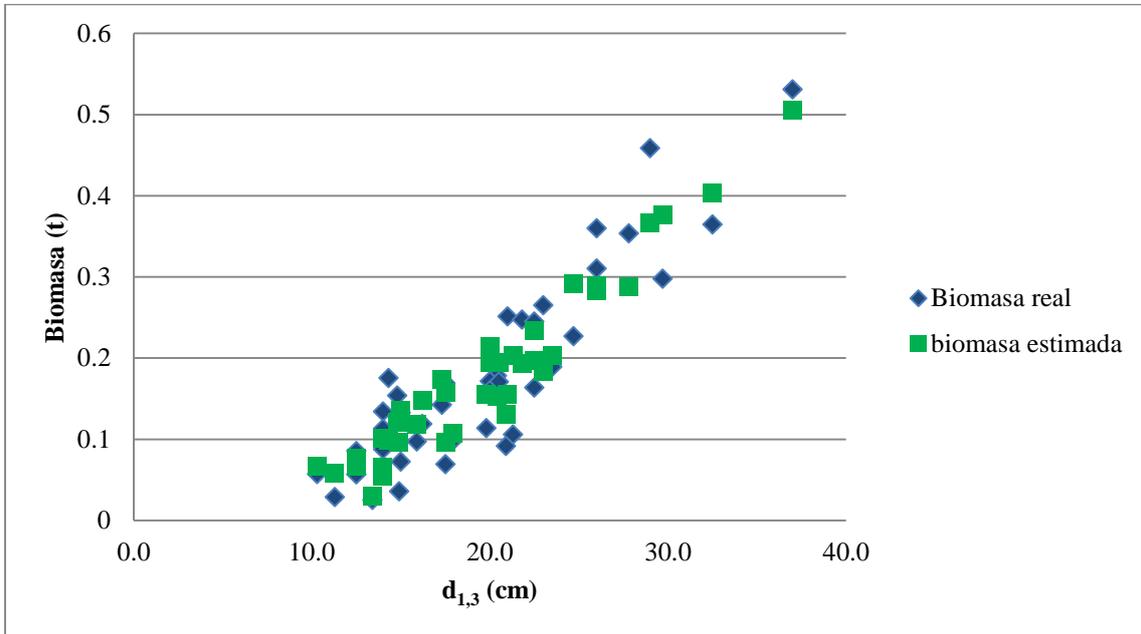


Figura 44: Biomasa real versus biomasa estimada de árboles de *P. flavipila* en función al $d_{1,3}$

FUENTE: Elaboración propia.

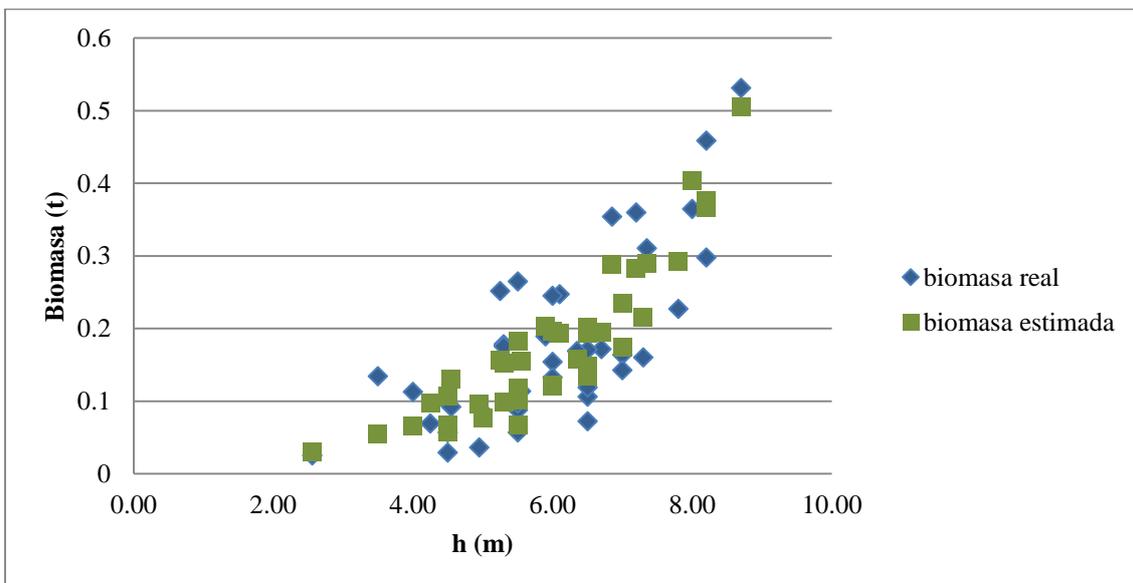


Figura 45: Biomasa real versus biomasa estimada de árboles de *P. flavipila* en función a la h.

FUENTE: Elaboración propia.

Asimismo, se realizó un análisis de los errores generados por la ecuación elegida en relación a la biomasa real y se obtuvo como resultado que el promedio de ellos es 0,00000055 t, con una variancia de 0,002635 t, el que se muestra en la Tabla 20 y en la Figura 46.

Tabla 20: Errores generados a partir de la ecuación elegida.

<i>N° de árbol</i>	<i>Biomasa real (t)</i>	<i>Biomasa estimada (t)</i>	<i>Error</i>
1	0,10594813	0,2024284	-0,0964803
2	0,11857274	0,1476646	-0,0290919
3	0,06922589	0,0965765	-0,0273506
4	0,17813336	0,1523232	0,0258101
5	0,35978198	0,2829634	0,0768186
6	0,02520132	0,0303792	-0,0051779
7	0,17165430	0,1950770	-0,0234227
8	0,22710404	0,2919833	-0,0648793
9	0,13409618	0,0546570	0,0794392
10	0,25137972	0,1558420	0,0955377
11	0,03589634	0,0955523	-0,0596559
12	0,17077588	0,1938380	-0,0230621
13	0,16897047	0,1572875	0,0116830
14	0,09781678	0,1067776	-0,0089608
15	0,16358786	0,2338990	-0,0703111
16	0,24718145	0,1933920	0,0537895
17	0,07220624	0,1347790	-0,0625728
19	0,09177679	0,1308059	-0,0390291
20	0,08774419	0,1009130	-0,0131688
21	0,15987471	0,2149010	-0,0550263
22	0,14237959	0,1737662	-0,0313866
23	0,09695826	0,1181764	-0,0212181
24	0,45851381	0,3665546	0,0919592
26	0,05688931	0,0672948	-0,0104055
27	0,53092453	0,5054878	0,0254367
29	0,02887663	0,0577132	-0,0288366

Continuación:

N° de árbol	Biomasa real (t)	Biomasa estimada (t)	Error
30	0,36439912	0,4032290	-0,0388299
31	0,17554825	0,0989141	0,0766342
32	0,35372805	0,2882994	0,0654287
33	0,26489323	0,1826870	0,0822062
34	0,15376215	0,1204066	0,0333555
35	0,05669251	0,0666340	-0,0099415
36	0,11359687	0,1552473	-0,0416504
37	0,31042343	0,2894062	0,0210172
38	0,24506066	0,1967290	0,0483317
39	0,29767988	0,3760371	-0,0783572
41	0,18923142	0,2027588	-0,0135274
42	0,13249368	0,1223890	0,0101047
43	0,11280961	0,0662210	0,0465886
44	0,08518286	0,0769590	0,0082239
Suma			0,0000219
Promedio			0,0000005
Desviación estándar			0,0513316
Variancia			0,0026349

FUENTE: Elaboración propia.

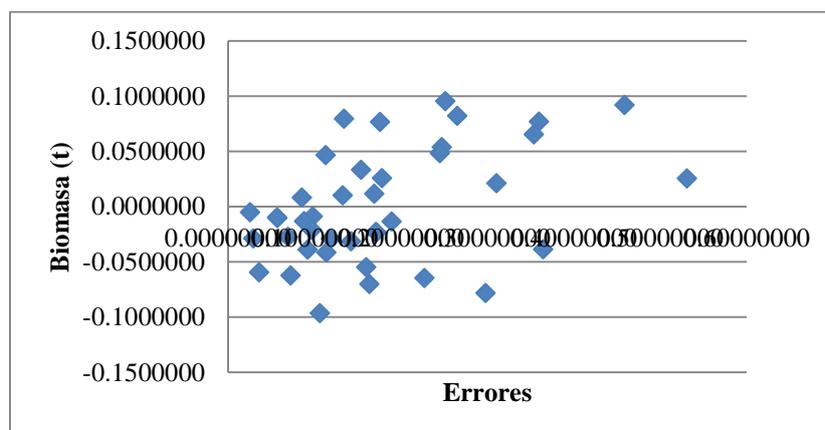


Figura 46: Biomasa real versus los errores generados por la ecuación elegida.

FUENTE: Elaboración propia.

Díaz *et al.* (2007), mencionan que las ecuaciones de biomasa mejoran su predicción cuando se consideran al mismo tiempo las variables diámetro y la altura.

Finalmente, se puede inferir que la ecuación elegida es eficiente y presenta un buen ajuste en la estimación de biomasa de árboles en pie de *Polylepis flavipila* del bosque Japoní, en Huarochirí – Lima, donde las únicas variables que se toman en cuenta son el diámetro a la altura de pecho y la altura total, variables de fácil medición en campo.

El bosque Japoní en promedio se tiene 400 árboles/ha (Florencio 2013); por lo que, a partir de este dato y los resultados obtenidos en el presente trabajo, la cantidad de biomasa estimada en la parte leñosa aérea para este bosque sería 71,07 t/ha.

Asimismo, considerando que la fracción de carbono de *Polylepis* sp. es 51, 67 por ciento. (Urquiaga 2012), el bosque Japoní en promedio almacenaría 36,72 tC/ha en la parte leñosa aérea. Pues este valor a pesar de ser bajo al compararse con la cantidad de carbono que se puede capturar con una plantación de 35 años de *Eucalyptus globulus* en Ancash, Perú, en la que se ha registrado 333,34 tC/ha (Simbaña 2011); constituye una oportunidad para las comunidades andinas, puesto que éstas tienen gran disponibilidad de tierras con aptitud forestal y pueden conservar bosques relictos con especies nativas y endémicas.

Los valores obtenidos en la presente investigación, tanto para la cantidad de biomasa leñosa aérea (71,07 t/ha) y la cantidad de carbono contenida en ésta (36,72 tC/ha), son relativamente menores a las obtenidas por Urquiaga (2012) en Cusco, quien señala que la cantidad de biomasa leñosa aérea es 97,42 t/ha y de carbono es 50,34 t/ha; ambas zonas de estudio presentan rangos altitudinales similares, pero difieren en los valores obtenidos por no tratarse de la misma especie.

Sin embargo, los resultados de la presente investigación son mucho mayores a los obtenidos por Mansilla (s.f) en Puno, se supone que esta diferencia se debe a que los bosques de Puno son más secos en comparación al área de estudio en el presente trabajo y por ende son menos densos. Por otro lado, para otro sitio en Puno, Siltanen *et al.* citados por Mansilla (s.f.), señalan que la biomasa total varía entre parcelas de 6,3 t/ha a 101,2 t/ha para bosques heterogéneos de *Polylepis* spp; por lo que los resultados de biomasa (71,07 t/ha) de la presente investigación se encuentran dentro de este rango.

El bosque Japaní al contar con una extensión de 665 ha, según los valores encontrados en total almacenaría 47 261,22 t de biomasa y 24 419,87 tC en la parte leñosa aérea.

El presente estudio, al determinar una ecuación que estima la biomasa de una especie alto andina en el bosque Japaní, permite estimar también la cantidad de carbono que es almacenado en el bosque, el cual constituye un primer paso para contribuir a mitigar el cambio climático; puesto que conocer ecuaciones específicas de las especies en los bosques facilita el estudio para proyectos de investigación ecológicos y de silvicultura, como inventarios detallados de biomasa y carbono almacenado en los árboles. Asimismo, mantener almacenado el carbono existente en los bosques constituye una modalidad para contribuir con la mitigación del cambio climático; los que podrían generar co-beneficios sociales, económicos y ambientales para la población y comunidades locales.

V. CONCLUSIONES

- 1) Las ecuaciones que estiman biomasa son bastantes prácticas para áreas forestales grandes. Su determinación para una especie o zona específica constituye un primer paso para contribuir con la mitigación del cambio climático.
- 2) El volumen promedio en árboles de *Polylepis* de Japaní es mayor al volumen promedio que presentan los árboles de *Polylepis* en Cusco.
- 3) La densidad básica de *Polylepis flavipila* es similar a la densidad básica de *Polylepis incana* y menor a la densidad básica de *Polylepis racemosa*.
- 4) La cantidad de biomasa y la cantidad de carbono almacenado por hectárea en la parte leñosa aérea en el bosque Japaní son menores a las que presentan poblaciones de *Polylepis* en Cusco y similares a las que presentan poblaciones de *Polylepis* en Puno.
- 5) La ecuación que estima con mayor precisión la biomasa leñosa aérea de los árboles de *Polylepis flavipila* en el bosque Japaní de la Comunidad Campesina Santiago de Carampoma en Huarochirí, Lima es: $B = - 0,026291 + 0,001652 d_{1,3} * h$.
- 6) La ecuación elegida representa una referencia adecuada para calcular la biomasa aérea esperada de árboles individuales de *P. flavipila*.

VI. RECOMENDACIONES

- Continuar con estudios de estimación de biomasa y carbono en especies de bosques andinos.
- Realizar estudios similares considerando también las raíces y hojas de los árboles en la cuantificación de la biomasa y carbono. Así como la necromasa.
- Realizar estudios comparando diferentes métodos para la estimación de biomasa y cantidad de carbono.
- Para mayor precisión en la cuantificación de la cantidad de carbono que almacena un bosque, se recomienda determinar la fracción de carbono para *Polylepis flavipila*.
- Conservar y mantener el bosque de Japaní en su estado actual, asimismo generar oportunidades que brinden servicios ecosistémicos.
- Incentivar campañas de reforestación con especies nativas que son más eficientes en secuestrar carbono en ecosistemas altoandinos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuña, E. 2013. Análisis de regresión. Universidad de Puerto Rico. Consultado el 16 de febrero de 2017. Disponible en: <http://academic.uprm.edu/eacuna/cap1sl.pdf>

Acuña, E. sf. Regresión lineal. Universidad de Puerto Rico. Consultado el 16 de febrero de 2017. Disponible en: <http://academic.uprm.edu/eacuna/miniman9sl.pdf>

Aguayo, M. 2007. Cómo realizar “paso a paso” un contraste de hipótesis con SPSS para Windows: (III) Relación o asociación y análisis de la dependencia (o no) entre dos variables cuantitativas Correlación y regresión lineal simple (en línea). Documento Técnico N° 0702005. Consultado el 29 de marzo de 2017. Disponible en http://www.fabis.org/html/archivos/docuweb/contraste_hipotesis_3r.pdf

Aguilar, O (1998). Evaluación forestal del bosque de *Polylepis* spp., Mantamay-Yanahuara, Urubamba (en línea). Tesis de Biólogo, Facultad de Ciencias Biológicas, UNSAAC. Consultado el 30 de marzo de 2017. Disponible en: <http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/UNSAAC/956/253T20140003.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

AIDER (Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral, PE). 2013. Mejorando capacidades para elaborar proyectos REDD en ecosistemas de bosque seco – Línea base del Proyecto (en línea). PE. 58 p. Consultado 23 nov. 2015. Disponible en: <http://www.aider.com.pe/publicaciones/Linea-Base-REDD-Bosques-Secos.pdf>

AIDER (Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral, PE). 2015. Proyectos de carbono forestal en el Perú. La experiencia de AIDER para mitigar el cambio climático. Ed. P. Recavarren. Lima, PE. 453 p.

- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos (en línea). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Vol. 22.2. Roma, IT. 209 p. Consultado 29 de marzo de 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/016/ap354s/ap354s00.pdf>
- Alvarado, J; Obagi, J. 2008. Inferencia Estadística (en línea). 1ra ed. Bogotá, CO. Editorial Pontificia Universidad Javeriana. 360p. Consultado el 30 de marzo de 2017. Disponible en: <https://sites.google.com/site/cursosalvarado/inferencia-estadistica>
- Álvarez, G. 2008. Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Boliva (en línea). Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 89 p. Consultado 05 abril. 2017. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2900e/A2900e.pdf>
- Andrade, H; Ibrahim, M. 2003. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en sistemas silvopastoriles? (en línea). Agroforestería en las Américas Vol. 10 N° 39 – 40. 8 p. Consultado 23 nov. 2015. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/nonfao/lead/x6378s/x6378s00.pdf>
- Arreaga, W. 2002. Almacenamiento de carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la reserva de biósfera Maya, Petén, Guatemala, Tesis de Magister Scientiae. Turrialba, CR. 86 p.
- Arroyo, J. 1983. Propiedades Físico-Mecánicas de la Madera, Texto para estudiantes de Ingeniería Forestal. Universidad de los Andes, Mérida, VE. 197 p.

- Aylas, A; Villaverde, J; Yauri, D. s.f. Determinación y comparación de las propiedades físicas del *Polylepis racemosa* y *Buddleja incana* (en línea). Universidad Nacional Del Centro del Perú. Pág. 15. Consultado el 04 de mayo de 2017. Disponible en: http://www.uncp.edu.pe/sites/uncp.edu/files/institucional/oficina/investigacion/pdf/resumenes/resumen_forestales.pdf
- Barrena, V; Dancé, J. Sáenz, D. 1986. Metodología para la selección de ecuaciones de volumen. Lima, PE. Revista Forestal del Perú. 13(2): 3-12.
- Barrena, V. 1988. La regresión ponderada en la elaboración de las ecuaciones de volumen. Lima, PE. Revista Forestal del Perú. 15(2): 21-28.
- Bautista, C. 2000. Estimación el volumen de un rodal cultivado usando índices de forma. Tesis de Ing. Forestal. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 63p.
- Brako, L., Zaruchi, J. 1993. Catalogue of the flowering plants and Gymnosperms of Peru (en línea). Missouri Botanical Garden, vol.45. Consultado 10 mayo 2016. Disponible en: <http://www.tropicos.org/Project/PEC>
- Cailliez, F. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento (en línea). Vol. 1. Roma, IT. Estudios FAO Montes. 22/1. 92 p. Consultado 29 de marzo de 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/016/ap353s/ap353s00.pdf>
- Calderón, M; Lozada, V. 2010. Determinación de biomasa y contenido de carbono en plantaciones forestales de *Polylepis incana* y *Polylepis reticulata* (en línea) – Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental. Quito, EC. 144 p. Consultado 26 nov. 2015. Disponible en: <http://www.sidalc.net/repdoc/A11216e/A11216e.pdf>

Chatterjee, S; Price, B. 1977. Regression analysis by example. New York, USA. Section 3,7. 68p.

Cunia, T. 1964. Weighted least square method and construction of volume tables (en línea). Forest Sci. 10(2): 180-191. Consultado el 05 de abril de 2017. Disponible en:
<http://www.ingentaconnect.com/contentone/saf/fs/1964/00000010/00000002/art00009>

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 (en línea). Revista Forestal. 6(16): 1-15. Consultado el 29 de marzo de 2017. Disponible en:
<http://vufind.uniovi.es/Record/ir-ART0000805619/Details>

Da Cunha, T; Vargas, J; Escalier, M. 2009. Ajuste y selección de modelos de regresión para estimar el volumen total de árboles. Documento Técnico N° 5. Proyecto FOMABO, BO. 28p.

Davel, M; Jovanowski, A; Mohr, D. 2005. Densidad básica de la madera de pino Oregón y su relación con las condiciones de crecimiento en la Patagonia Andina Argentina (en línea). Bosques 26 (3): 55 –62. Consultado el 04 de mayo de 2017. Disponible en:
http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002005000300006

De Petre, A; Ola, U; Ali, S; Reynero, N. s.f. Área Captura de Carbono – Proyecto de Investigación Aplicada a los Recursos Forestales Nativos (PIARFON), Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas Argentina Banco Mundial – N° 4085-AR. 15 p.

- 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), Universidad Nacional de Cajamarca, PE. 51-58 p.
- 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 (en línea). *Maderas y Bosques*. 131(1), primavera 2007. Pp. 25-34. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, MX. Consultado 05 abril 2017. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61713103>
- 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 Ing. Forestal. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. En prensa.
- Florencio, C. 2013. Plan General de Manejo Forestal de la Comunidad Campesina Santiago de Carampoma (PGMF). Proyecto: “Japaní: Conservación, Ecoturismo y Manejo Forestal en la Comunidad Campesina Santiago de Carampoma”. Huarochirí, Lima. PE. 9 p.
- Furnival, G. 1961. An Index for comparing equations used in constructing volumes tables. *Forest Science* 7(4): 337-341.
- Gayoso, J; Schlegel, B. 2001. Guía para la formulación de proyectos forestales de carbono - Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Universidad Austral De Chile, Proyecto FONDEF. Valdivia, CL. 15 p.
- Gómez, J; Etchevers, J; Monterrosos, A; Campos, J; Tinoco, J. 2011. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Quercus magnoliaefolia*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(2): 261-272, MX.

- Hanke, J; Wichern, D. 2006. Pronóstico en los negocios (en línea). 8va Edición. Naucalpan de Juárez. MX. Prentice Hall. 552p. Consultado el 04 de mayo de 2017. Disponible en: <http://www.freelibros.org/libros/pronosticos-en-los-negocios-8va-edicion-john-e-hanke.html>
- IGN (Instituto Geográfico Nacional del Perú, PE). 2005. Cartografía Digital (en línea). Consultado el 04 de marzo de 2017. Disponible en: <http://www.ign.gob.pe/>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, CH). 1996. Chapter 5: Land Use Change & Forestry. *Greenhouse Gas Inventory Reference Manual*. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Revised Version. London, 1996, vol. 3, 57 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, CH). 2007. UN CC: Learn – The One UN Climate Change Learning Partnership. Curso online: Introducción al Cambio Climático (en línea). Consultado 12 dic. 2015. Disponible en: <http://unccelearn.org/course/view.php?id=13&sesskey=K28G9Xy7Wy>
- Kessler, M; Schmidt-Lebuhn, A. 2006. Taxonomical and distributional notes on *Polylepis* (Rosaceae) (en línea). Department of Systematic Botany, Albrecht-von-Haller-Institute of Plant Sciences, Göttingen University, 37073 Göttingen, Germany. Consultado 14 de dic. 2015. Disponible en: <http://www.senckenberg.de/odes/06-01.htm>
- Larrea, G. 2007. Determinación de las Reservas de Carbono en la Biomasa Aérea de Combinaciones Agroforestales de *Theobroma cacao* L. Departamento de San Martín. Tesis de Ing. Forestal, Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina 89 p.

- Loetsch, F.; Zohrer, F.; Haller, H.E. 1973. Forest Inventory. Vol. 2. B.L.V. Verlagsgesellschaft. Munich. 469p.
- Mackay, E; 1984. Dasometria, teoría y técnicas de las mediciones forestales. Madrid, ES. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. 760p.
- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador, EC); FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). 2014. Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales – Ecuador (en línea). Quito, EC.105 p. Consultado 05 de mayo de 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i4407s.pdf>
- Mansilla, H. s.f. Aspectos económicos de la captura de CO2 en especies nativas: Caso bosque de Queña Qocha en el Valle de Ollantaytambo, Cusco, PE. IRG/BIOFOR. 112 p.
- 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 *P. pseudostrobus* Lindl., en Guanajato, México (en línea). *Agrociencia* 45: 479-491. MX. Consultado 08 de abril de 2017. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v45n4/v45n4a7.pdf>
- Mendoza, W; Cano, A. 2012. El género *Polylepis* en el Perú – Taxonomía, Morfología y Distribución. Editorial Académica Española. 121 p.
- Mendoza, W; León, B. 2006. Rosaceae endémicas del Perú (en línea). *Rev. PE. Biol.* Número especial 13(2):583s – 585s (diciembre 2006). Facultad de Ciencias Biológicas UNMSM. Consultado 03 de jul. 2014. Disponible en: <http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/biologia/v13n2/pdf/a102.pdf>

Mendoza, W.; Cano, A. 2011. Diversidad del género *Polylepis* (Rosaceae, Sanguisorbeae) en los Andes peruanos (en línea). Rev. PE. biol.18 (2): 197 – 200 p. (agosto 2011). Facultad de Ciencias Biológicas UNMSM. Consultado 14 de dic. 2015. Disponible en: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/rpb/article/view/228/216>

Mendiburu, F. s.f. Análisis de Regresión y Correlación (en línea). Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. Consultado 12 de agosto de 2016. Disponible en: <http://tarwi.lamolina.edu.pe/~fmendiburu/indexfiler/academic/Estadistica/parte6.pdf>

MINAM (MINISTERIO DEL AMBIENTE, PE). 2015. Guía de inventario de la flora y vegetación. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. Lima, Perú. 50 p.

Montgomery, D; Peck, A; Vining, G. 2006. Introducción al análisis de regresión lineal. 3a. ed. México DF, MX. CECSA. 588 p.

Ñingle, S; Florencio, C. 2013. Propuesta de zonificación ecológica económica del bosque de *Polylepis* “Japaní” – Proyecto “Conservación del bosque relicto de *Polylepis* a través del ecoturismo y manejo forestal” Lima, PE. 22 p.

Olazábal, O (1997). Evaluación del bosque de Queuña Qocha Ollantaytambo-Urubamba. Seminario curricular, Facultad de Ciencias Biológicas, UNSAAC, PE.

Orellana, L. 2008. Análisis de regresión - Regresión lineal simple (en línea), Consultado el 29 de marzo de 2017. Disponible en: http://www.dm.uba.ar/materias/estadistica_Q/2011/1/clase%20regresion%20simple.pdf

- Pérez, M; Díaz, J. 2010. Estimación del carbono contenido en la biomasa forestal aérea de bosques andinos en los departamentos de Santander y Cundinamarca. Universidad Distrital Francisco José Caldas. Bogotá, CO. 87 p.
- Philip, M. 1994. Measuring trees and forest. Cambridge, UK. Centre for Agriculture and Biosciences International. 310p.
- Picard N., Saint L. Matieu H. 2012. Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles. CIRAD y FAO. Roma, IT.
- Rojo, J. 2007. Regresión Lineal Múltiple. Laboratorio de Estadística (en línea). Centro de Ciencias Humanas y Sociales. Madrid, ES. Consultado el 15 de marzo de 2017. Disponible en: http://humanidades.cchs.csic.es/cchs/web_UAE/tutoriales/PDF/Regresion_lineal_multiple_3.pdf
- Romero, C. 2017. Estimación del volumen de árboles en pie de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en el departamento de Ucayali, Perú. Tesis de Ing. Forestal. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. En prensa.
- Ruiz, E. 2007. Elaboración de una ecuación de volumen para un bosque de terrazas alta en el Codo del Pozuzo, Puerto Inca, Huánuco. Tesis de Ing. Forestal. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 100p.
- Schlegel, B. 2001. Estimación de biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempre verde (en línea). Valdivia, CL. 13 p. Consultado 14 dic 2015. Disponible: http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/45_schlegel.PDF

- Segura, M; Andrade, H. 2008. ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono en especies leñosas perennes? – (en línea) Agroforestería en las Américas N° 46. 8p. Consultado 14 dic 2015. Disponible en: http://worldcocoafoundation.org/wp-content/files_mf/segura2008a.pdf
- Sembrero, M; Valencia N. 2015. Expediente técnico – Área de Conservación Privada (ACP) “Japaní”. Carampoma – Huarochirí, Lima, PE. 45 p. Enviado.
- Siltanen, M. 1987. Evaluación de producción de biomasa en función al suelo en cinco rodales de *Polylepis incana*. Puno, PE. Proyecto Árbol andino. 30 p.
- Simbaña, N. 2011. Estimación de la captura de carbono en plantaciones de *Eucaliptus globulus* Labill. Tesis de Magister Scientiae en Bosques y Gestión de Recursos Forestales. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, PE. 120 p.
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, CH). 2014. *Polylepis besseri* ssp. *Subtusalbida* (en línea). Consultado 14 de dic. 2015. Disponible en: <http://www.iucnredlist.org/details/37147/0>
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, CH). 2016. La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN (en línea). Versión 2016-3. Consultado: 07 de diciembre de 2016. Disponible en: www.iucnredlist.org .
- Urquiaga, FE. 2012. Secuestro de carbono por *Polylepis* sp. (Queuña) en Bosques Alto andinos en una microcuenca de Urubamba – Cuzco. Tesis de Magister Scientiae en Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, PE. 88 p.

Uriel, E. 2013. Contraste de hipótesis en el modelo de regresión lineal múltiple (en línea) Universidad de Valencia. Valencia. ES. 52p. Consultado el 30 de marzo de 2017. Disponible en: <http://www.uv.es/uriel/4%20Contraste%20de%20hipotesis%20en%20el%20modelo%20de%20regresion%20multiple.pdf>

Vélez, I. 2003. Apuntes de Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Administración- Politécnico Grancolombiano. (en línea). Bogotá, CO. 44p. Consultado el 30 de marzo de 2017. Disponible en <http://www.gacetafinanciera.com/TEORIARIESGO/regresion.pdf>

Zutta, B; Rundel, P; Sassan, S; Casana, J; Guathier, P; Soto, A; Velazco; Buermann, W. 2012. Prediciendo la distribución de *Polylepis*: bosques Andinos vulnerables y cada vez más importantes. Rev. PE. Biol. 19 (2): 205-212 (en línea). Facultad de Ciencias Biológicas UNMSM, Lima, PE. Consultado 07 de jul. 2014. Disponible en: <http://scholar.princeton.edu/ppg/files/Zutta%20et%20al%202012.pdf>

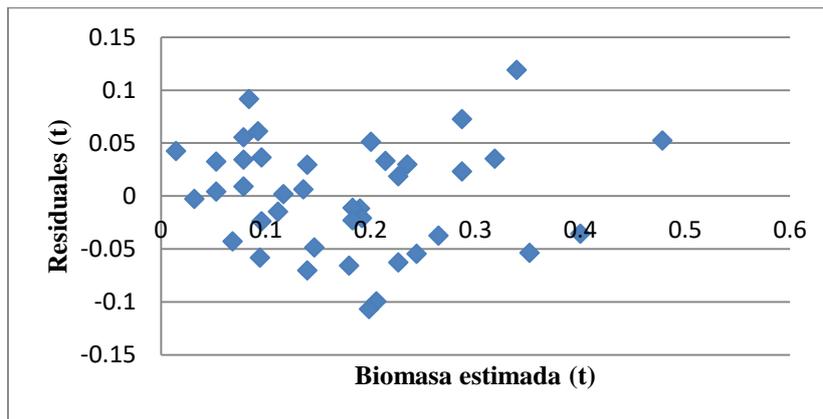
ANEXO 2: CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD BÁSICA DE LAS SECCIONES DE MADERA DE *P. FLAVIPILA*

N° de árbol	Muestras	Volumen (cm ³)	Peso (g)		CH%	DB (g/cm ³)
			húmedo	seco		
1	1Fa1	407,3	441,8	193,31	128,54	0,475
	1Fa2	370,2	392,8	167,47	134,55	0,452
	1Fa3	313,7	340,6	191,72	77,65	0,611
	1Fa4	254,0	261,2	117,12	123,02	0,461
	1Fa5	244,7	263,9	111,73	136,19	0,457
	1Fa6	224,7	241,6	105,59	128,81	0,470
	1Fb1	288,7	312,9	134,74	132,23	0,467
	1Fb2	450,7	497,5	214,72	131,70	0,476
	1Fb3	666,3	729,4	311,11	134,45	0,467
	1Fb4	447,5	479,9	206,42	132,49	0,461
	1Fb5	309,5	284,3	130,41	118,00	0,421
	1Fb6	256,3	245,8	115,62	112,59	0,451
	1Fc1	300,6	330,5	138,63	138,40	0,461
	1Fc2	316,0	340,2	144,92	134,75	0,459
	1Fc3	497,1	544,1	227,98	138,66	0,459
	1Fc4	297,5	308,7	133,11	131,91	0,447
	1Fc5 *	344,5	356,9	150,04	137,87	0,436
	1Fc6 *					
	1Ra1	99,4	105,5	44,38	137,72	0,446
	1Ra2	79,6	85,8	35,22	143,61	0,442
	1Ra3	99,2	106,8	44,36	140,76	0,447
	1Ra4	90,4	96,7	40,05	141,45	0,443
	1Ra5	90,0	96,1	39,13	145,59	0,435
	1Ra6	77,8	80,1	32,29	148,06	0,415
	1Rb1	103,8	107,7	43,56	147,25	0,420
	1Rb2	111,9	120,1	48,70	146,61	0,435
	1Rb3	123,8	132,3	55,88	136,76	0,451
	1Rb4	84,2	87,3	35,73	144,33	0,424
	1Rb5	70,8	73,9	30,52	142,14	0,431
	1Rb6	70,0	67,6	29,15	131,90	0,416
	1Rc1	142,4	150,3	60,61	147,98	0,426
	1Rc2	146,6	156,3	63,17	147,43	0,431
	1Rc3	115,5	123,0	49,64	147,78	0,430
1Rc4	116,9	126,2	53,25	137,00	0,456	
1Rc5	115,4	120,2	49,92	140,79	0,433	
1Rc6	166,0	173,5	74,34	133,39	0,448	
2	2Fa1	128,4	133,2	60,17	121,37	0,469
	2Fa2	113,2	116,9	53,89	116,92	0,476

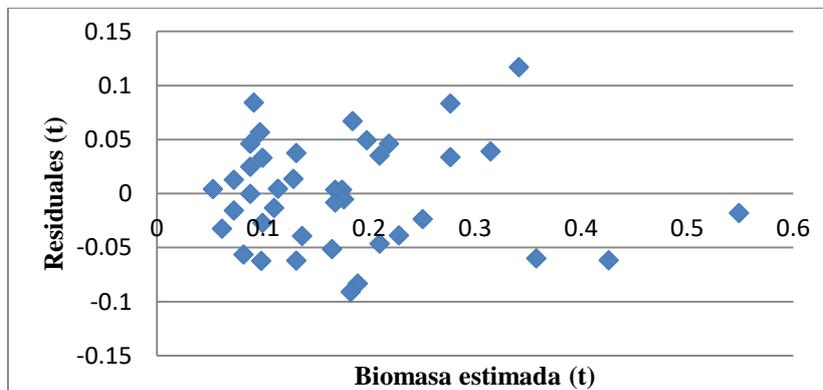
	2Fa3	113,1	117,8	53,37	120,72	0,472
	2Fa4	180,9	193,8	93,06	108,25	0,514
	2Fa5	182,0	197,3	94,90	107,90	0,521
	2Fa6	110,3	119,4	55,12	116,62	0,500
	2Fb1	155,2	160,6	77,66	106,80	0,500
	2Fb2	141,2	145,8	70,89	105,67	0,502
	2Fb3	110,3	113,7	55,36	105,38	0,502
	2Fb4	202,8	213,0	102,35	108,11	0,505
	2Fb5	235,5	253,5	116,32	117,93	0,494
	2Fb6	112,8	118,9	53,81	120,96	0,477
	2Fc1	188,4	206,2	95,63	115,62	0,508
	2Fc2	184,0	191,4	92,33	107,30	0,502
	2Fc3	124,4	126,7	61,47	106,12	0,494
	2Fc4	308,5	338,6	160,48	110,99	0,520
	2Fc5	187,4	196,2	92,78	111,47	0,495
	2Fc6	77,3	77,8	37,75	106,09	0,488
	2Ra1	86,1	87,5	39,93	119,13	0,464
	2Ra2	35,8	36,8	17,01	116,34	0,475
	2Ra3	49,4	50,0	22,58	121,43	0,457
	2Ra4	46,8	47,5	20,65	130,02	0,441
	2Rb1	88,6	89,8	43,71	105,44	0,493
	2Rb2	47,6	47,9	22,52	112,70	0,473
	2Rb3	43,2	43,1	20,11	114,32	0,466
	2Rb4	65,0	66,2	31,41	110,76	0,483
	2Rc1	48,4	47,8	21,73	119,97	0,449
	2Rc2	43,6	44,2	20,42	116,45	0,468
	2Rc3	69,8	70,6	31,52	123,98	0,452
	2Rc4	69,2	70,8	33,88	108,97	0,490
3	3Fa1	265,3	280,0	131,45	113,01	0,495
	3Fa2	138,9	145,7	68,10	113,95	0,490
	3Fa3	182,4	187,3	92,03	103,52	0,505
	3Fa4	304,2	309,3	152,81	102,41	0,502
	3Fa5	148,5	152,8	68,71	122,38	0,463
	3Fa6	355,0	371,8	176,21	111,00	0,496
	3Fb1	342,5	356,4	172,54	106,56	0,504
	3Fb2	178,4	184,3	82,82	122,53	0,464
	3Fb3	493,4	534,3	252,50	111,60	0,512
	3Fb4	184,5	191,2	91,74	108,42	0,497
	3Fb5	168,0	168,4	81,92	105,57	0,488
	3Fb6	368,9	398,7	181,98	119,09	0,493
	3Fc1	391,5	408,4	189,22	115,83	0,483
	3Fc2	133,3	136,2	61,56	121,25	0,462
	3Fc3	878,4	956,8	440,65	117,13	0,502
	3Fc4	353,7	364,0	180,46	101,71	0,510

3Fc5	300,6	296,9	154,74	91,87	0,515
3Fc6	656,6	702,9	332,54	111,37	0,506
3Ra1	54,6	58,6	28,07	108,76	0,514
3Ra2	52,8	53,3	24,92	113,88	0,472
3Ra3	166,1	170,6	77,07	121,36	0,464
3Ra4	114,0	117,1	51,45	127,60	0,451
3Ra5	56,2	56,4	26,26	114,78	0,467
3Ra6	105,5	111,8	50,96	119,39	0,483
3Rb1	95,4	97,0	45,18	114,70	0,474
3Rb2	77,2	77,5	36,32	113,38	0,470
3Rb3	73,7	76,1	35,92	111,86	0,487
3Rb4	67,4	68,8	31,25	120,16	0,464
3Rb5	126,4	131,0	62,39	109,97	0,494
3Rb6	180,0	182,3	86,13	111,66	0,479
3Rc1	133,4	140,2	64,36	117,84	0,482
3Rc2	78,1	83,8	38,00	120,53	0,487
3Rc3	63,4	66,0	28,71	129,89	0,453
3Rc4	70,9	73,1	33,44	118,60	0,472
3Rc5	58,7	63,1	28,86	118,64	0,492
3Rc6	121,2	124,8	55,21	126,05	0,456

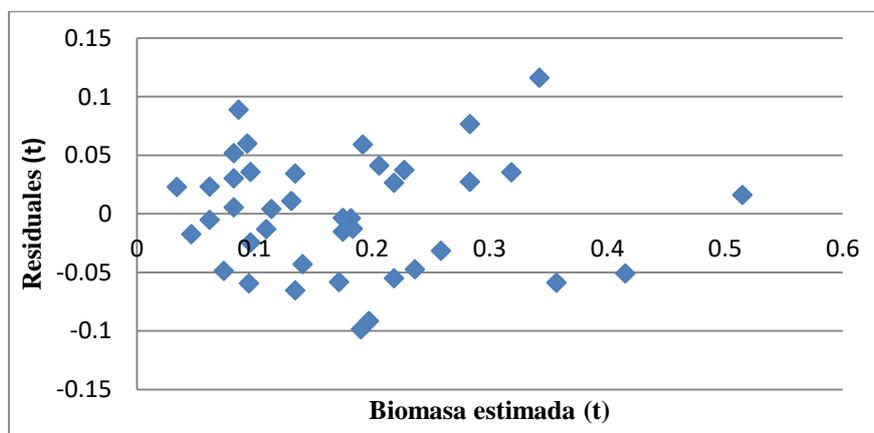
ANEXO 3: ANÁLISIS DE RESIDUALES DE LOS MODELOS SIN PONDERAR



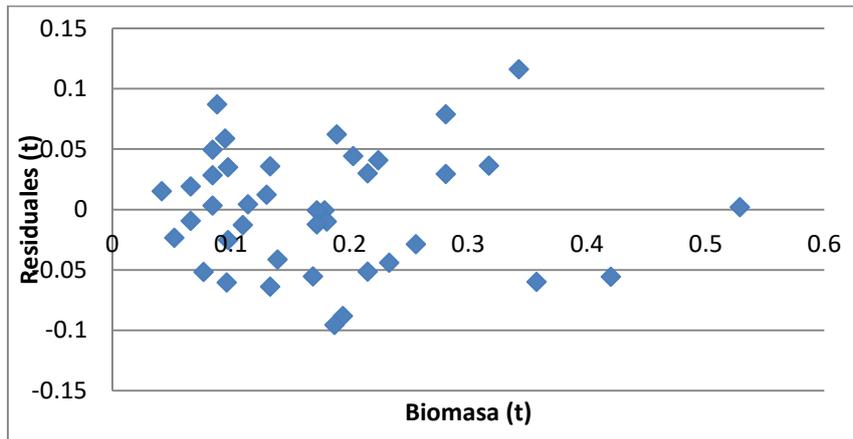
1. Análisis de residuos del modelo 1: $B = b_0 + b_1 * dap$



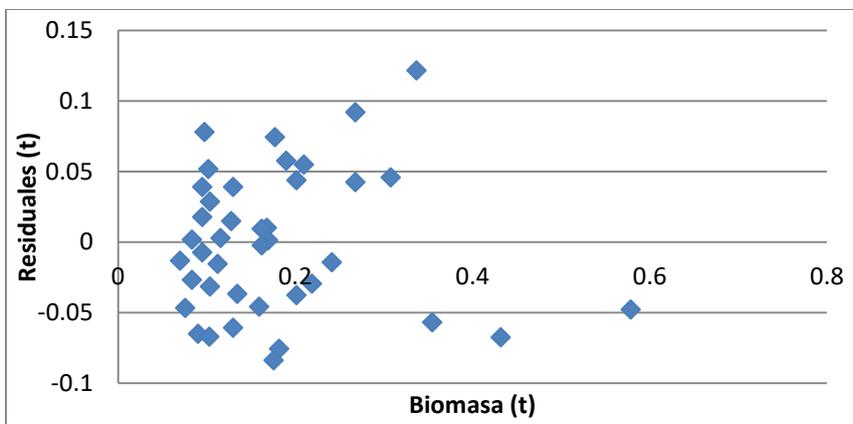
2. Análisis de residuos del modelo 2: $B = b_0 + b_1 * dap^2$



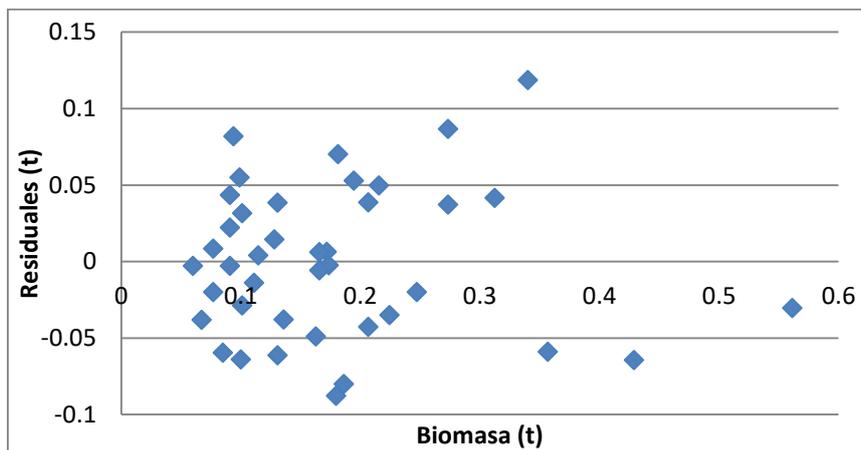
3. Análisis de residuos del modelo 3: $B = b_0 + b_1 * dap^{1.5}$



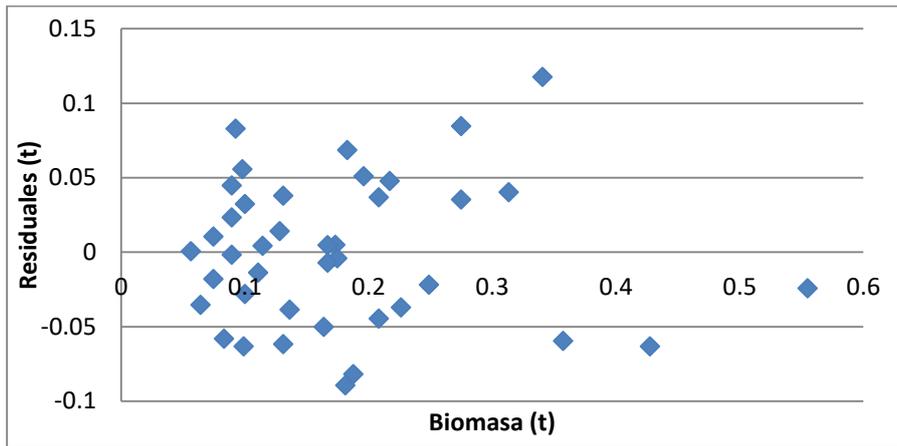
4. Análisis de residuos del modelo 4: $B = b_0 + b_1 * dap^{1.7}$



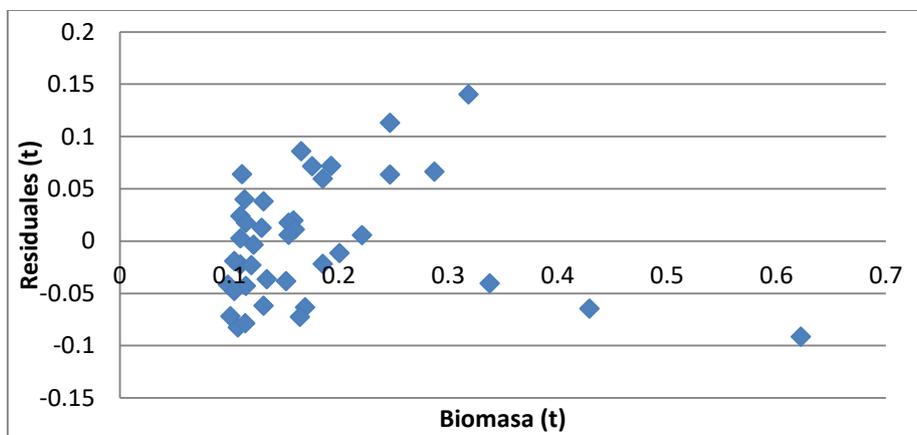
5. Análisis de residuos del modelo 5: $B = b_0 + b_1 * dap^{2.5}$



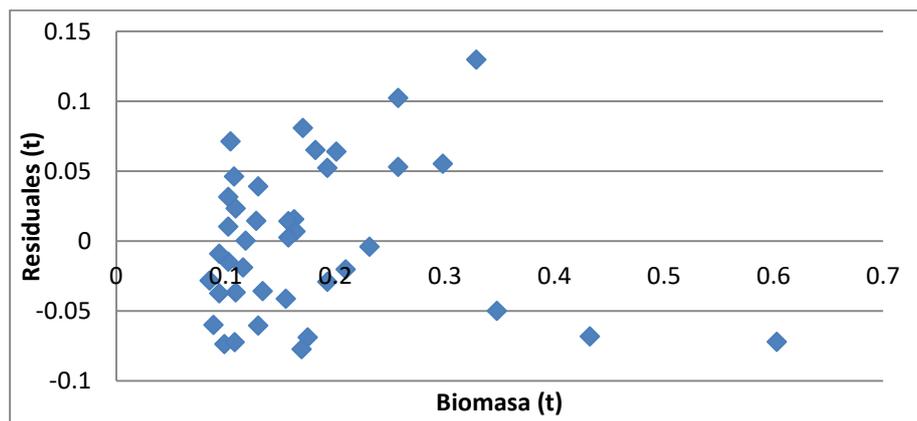
6. Análisis de residuos del modelo 6: $B = b_0 + b_1 * dap^{2.2}$



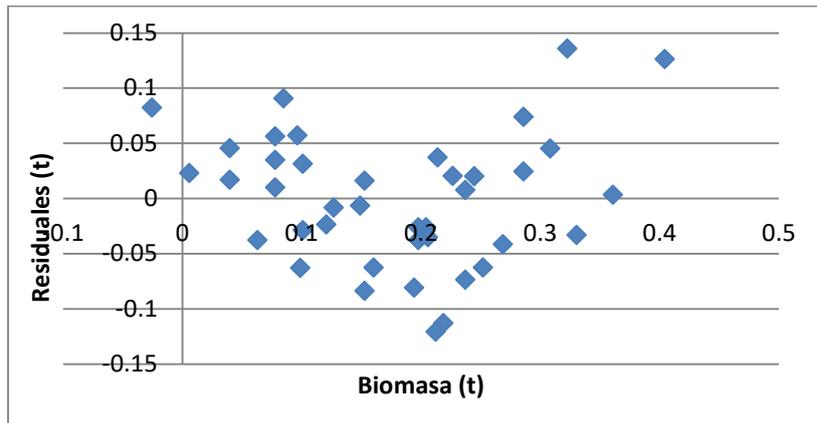
7. Análisis de residuos del modelo 7: $B = b_0 + b_1 * dap^{2.1}$



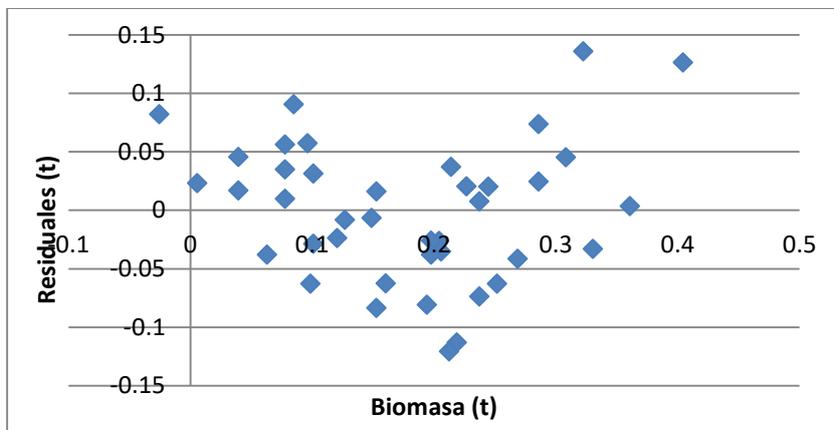
8. Análisis de residuos del modelo 8: $B = b_0 + b_1 * dap^{3.5}$



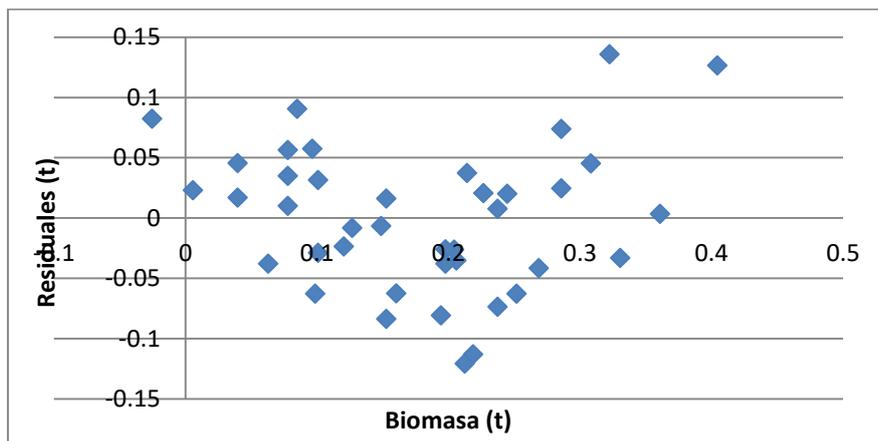
9. Análisis de residuos del modelo 9: $B = b_0 + b_1 * dap^3$



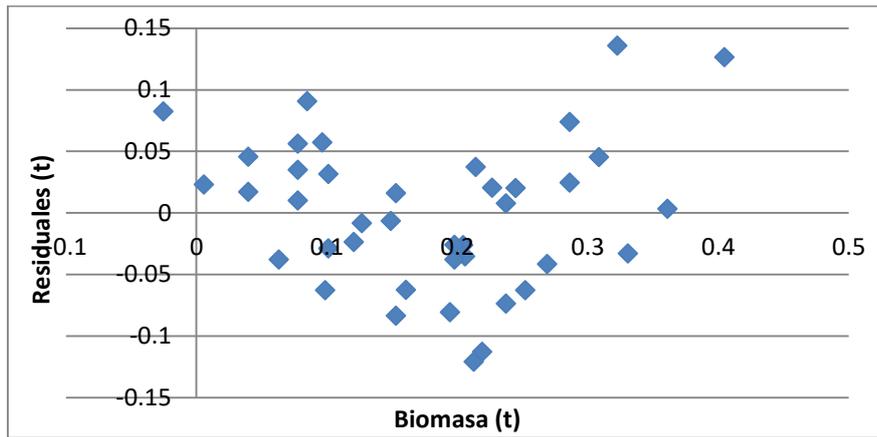
10. Análisis de residuos del modelo 10: $B = b_0 + b_1 \cdot \ln \text{dap}$



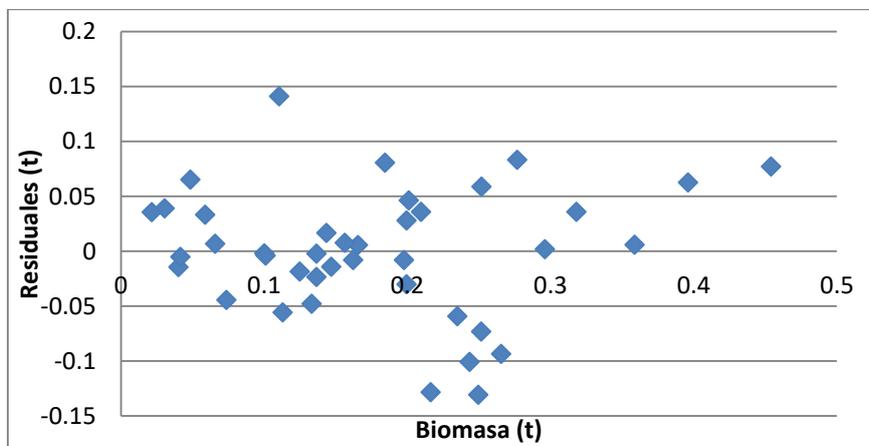
11. Análisis de residuos del modelo 11: $B = b_0 + b_1 \cdot \log \text{dap}$



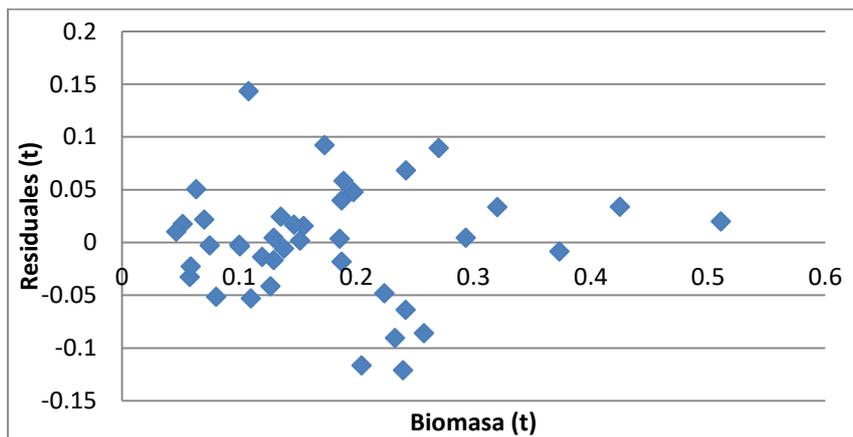
12. Análisis de residuos del modelo 12: $B = b_0 + b_1 \cdot \log \text{dap}^2$



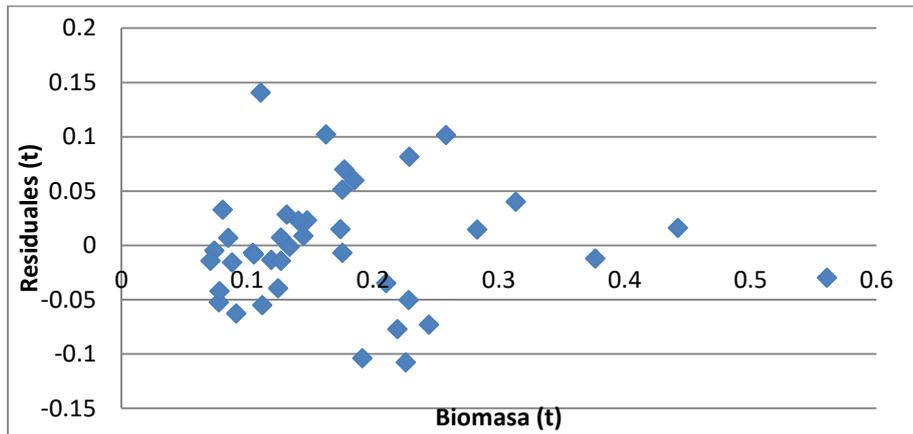
13. Análisis de residuos del modelo 13: $B = b_0 + b_1 * \log \text{dap}^3$



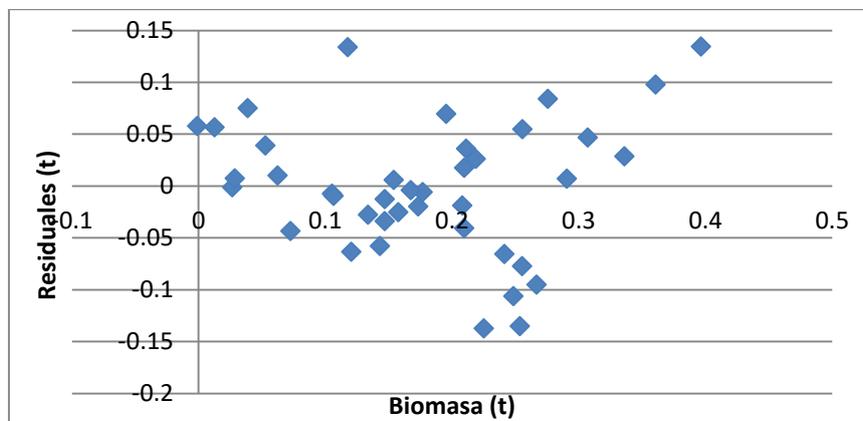
14. Análisis de residuos del modelo 18: $B = b_0 + b_1 * \text{dcopa}$



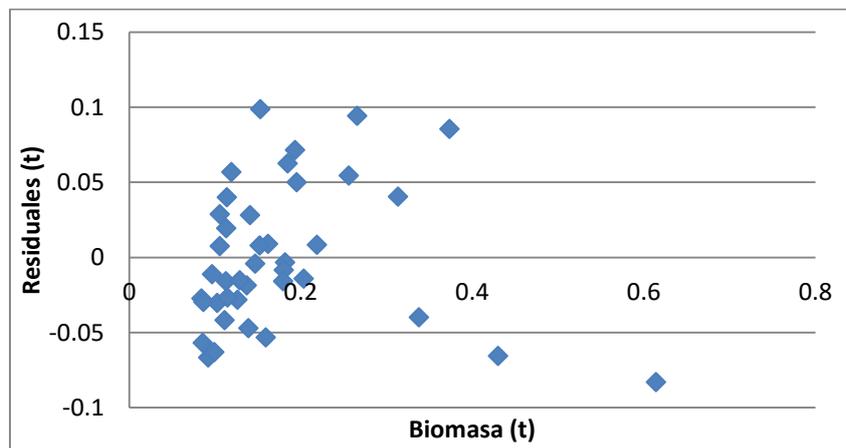
15. Análisis de residuos del modelo 19: $B = b_0 + b_1 * \text{dcopa}^2$



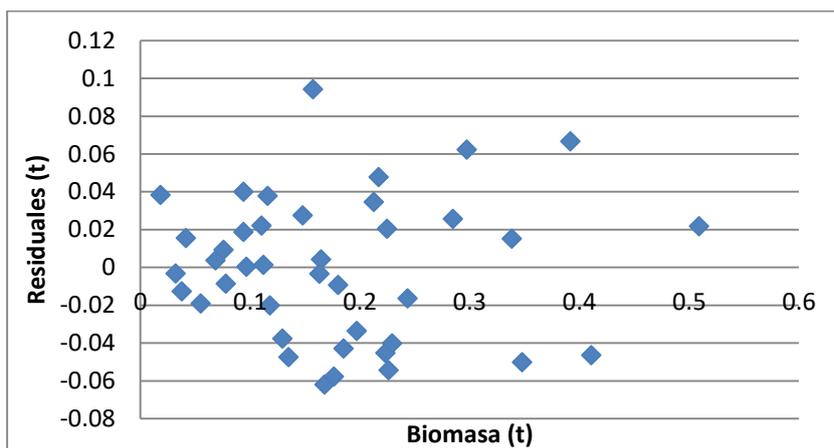
16. Análisis de residuos del modelo 20: $B = b_0 + b_1 * dcopa^3$



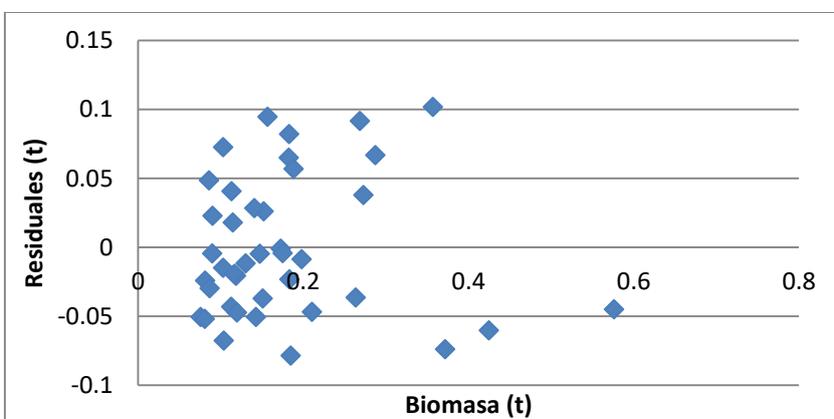
17. Análisis de residuos del modelo 21: $B = b_0 + b_1 * \ln dcopa$



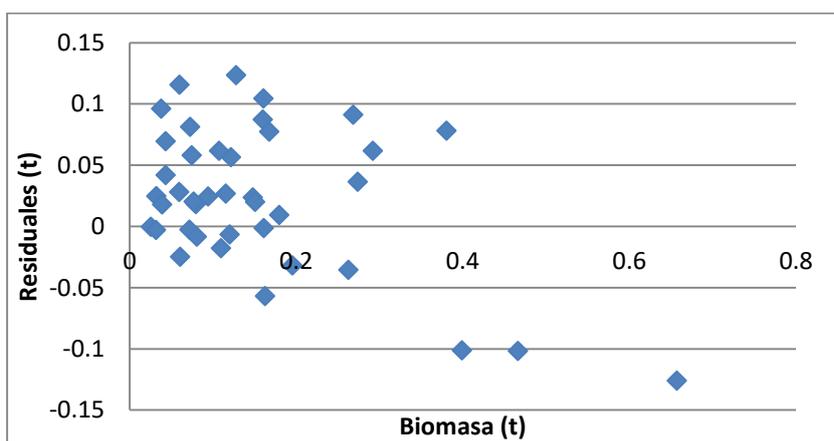
18. Análisis de residuos del modelo 30: $B = b_0 + b_1 * dap^2 * dcopa$



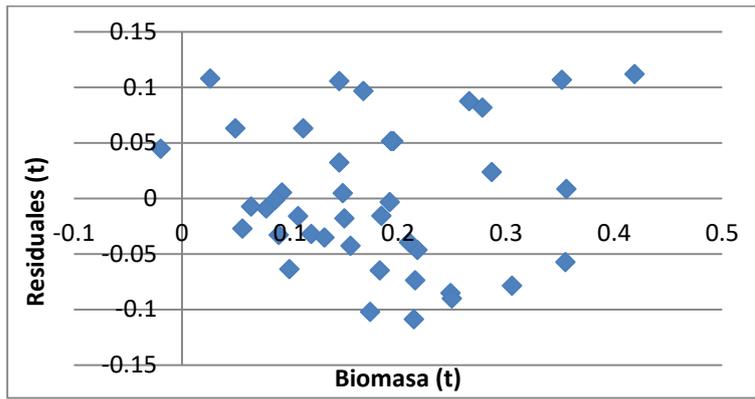
19. Análisis de residuos del modelo 31: $B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot \text{dcopa}$



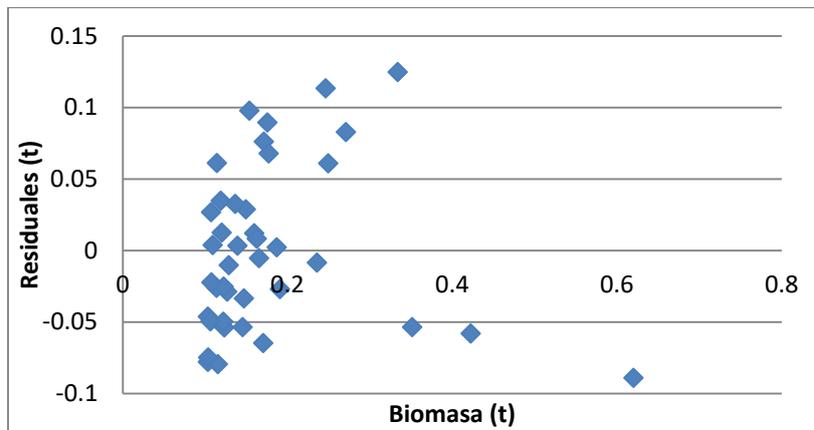
20. Análisis de residuos del modelo 33: $B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$



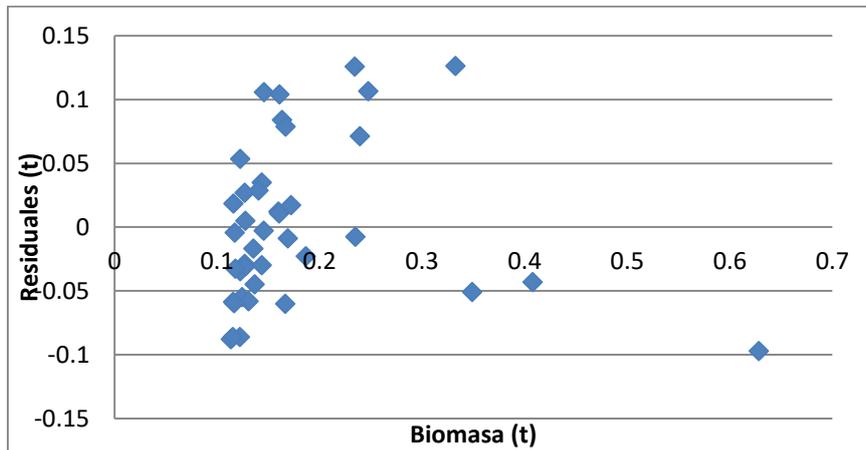
21. Análisis de residuos del modelo 34: $B = b_1 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$



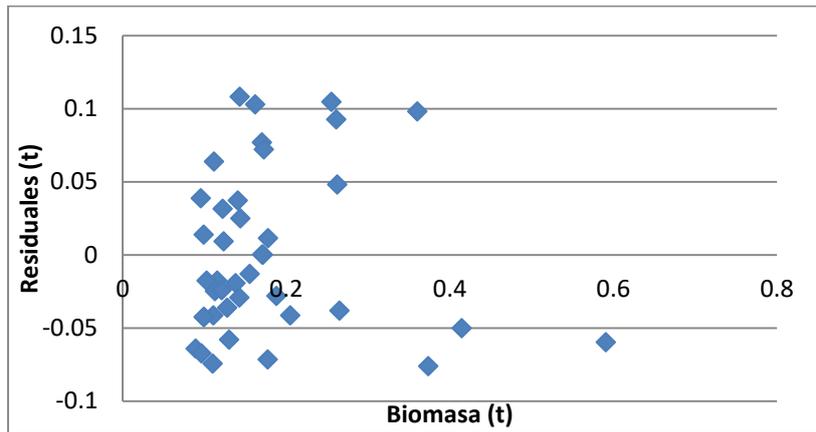
22. Análisis de residuos del modelo 36: $B = b_0 + b_1 \cdot \text{Indap} \cdot h$



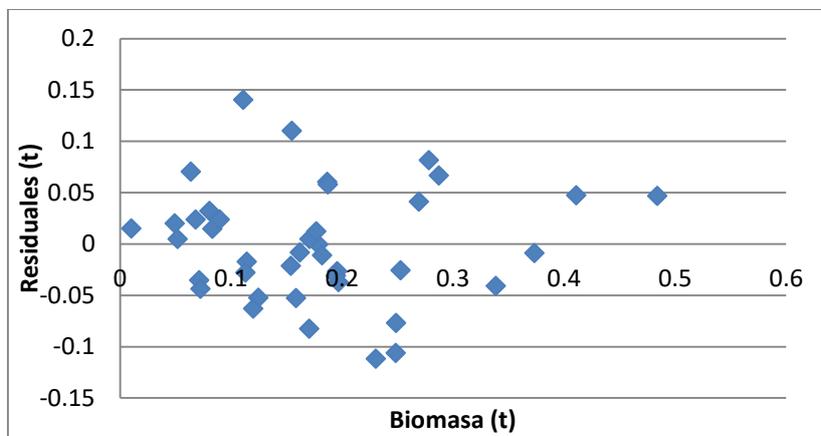
23. Análisis de residuos del modelo 57: $B = b_0 + b_1 \text{dap}^3 \cdot h$



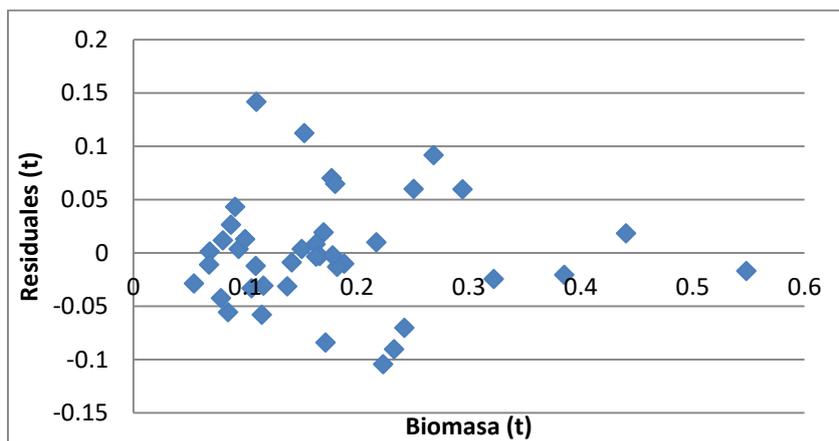
24. Análisis de residuos del modelo 58: $B = b_0 + b_1 \text{dap}^3 \cdot h^2$



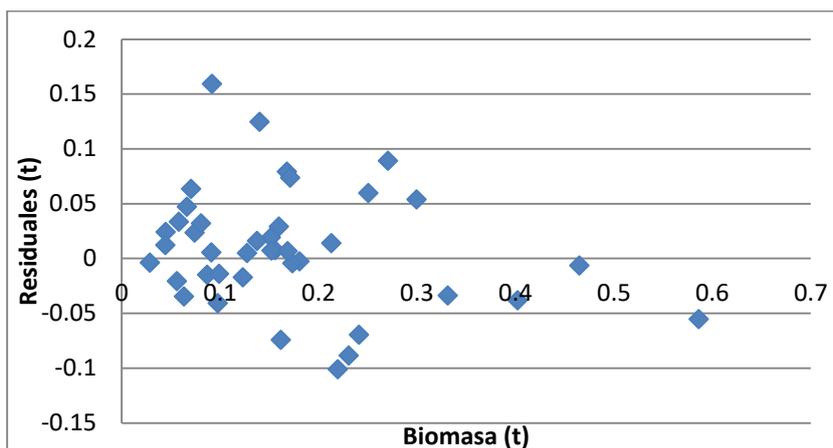
25. Análisis de residuos del modelo 59: $B = b_0 + b_1dap^2 \cdot h^2$



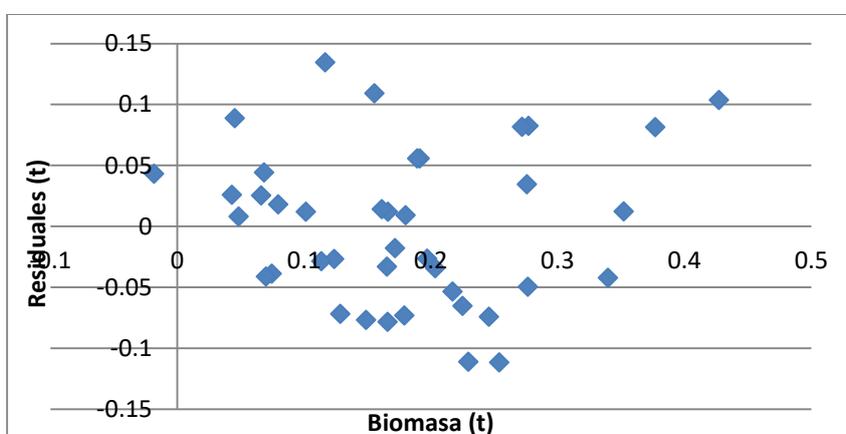
26. Análisis de residuos del modelo 60: $B = b_0 + b_1 \cdot dcopa \cdot h$



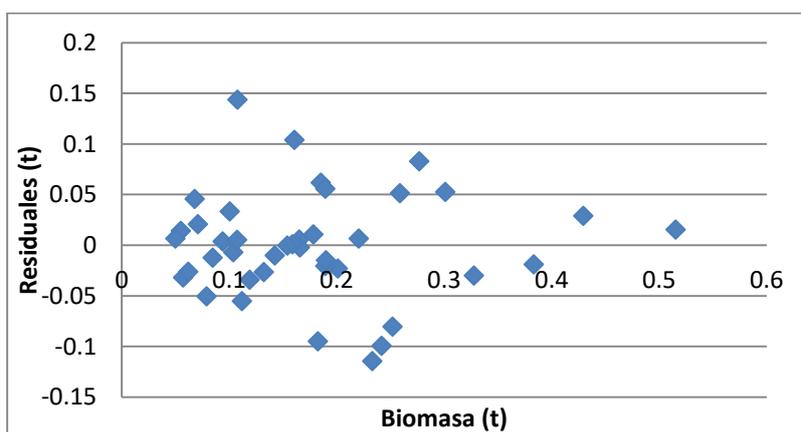
27. Análisis de residuos del modelo 61: $B = b_0 + b_1 \cdot dcopa^2 \cdot h$



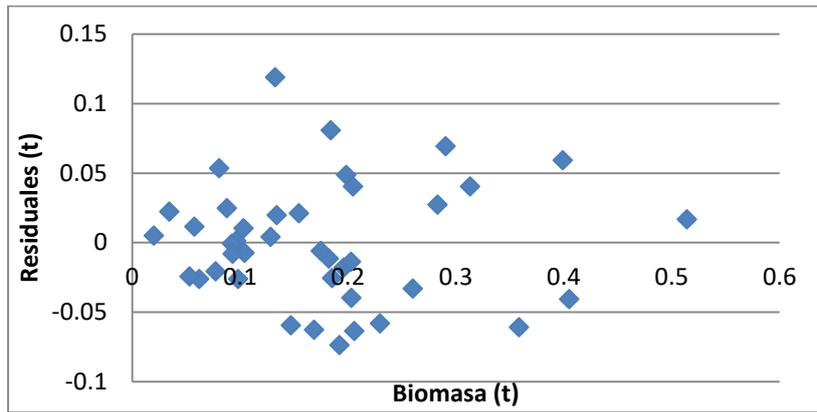
28. Análisis de residuos del modelo 62: $B = b_1 * dcopa^2 * h$



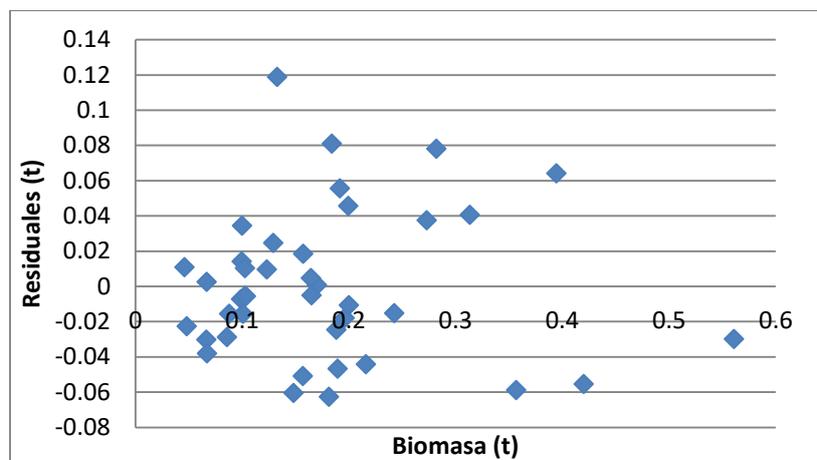
29. Análisis de residuos del modelo 64: $B = b_0 + b_1 * \ln dcopa * h$



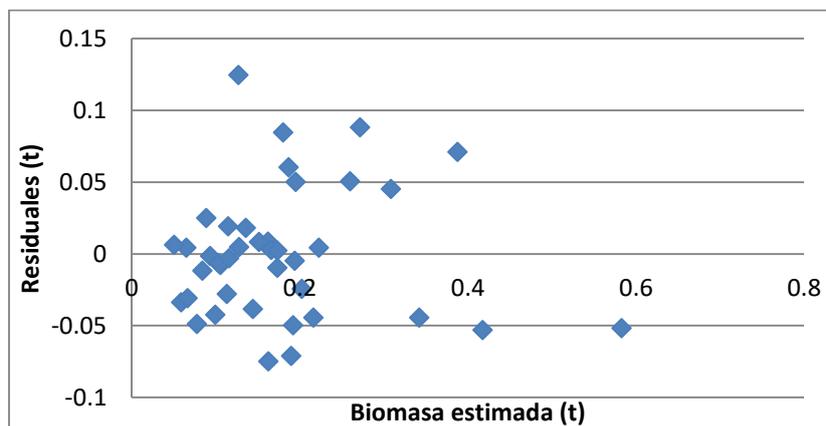
30. Análisis de residuos del modelo 67: $B = b_0 + b_1 * dcopa * h + b_2 * h$



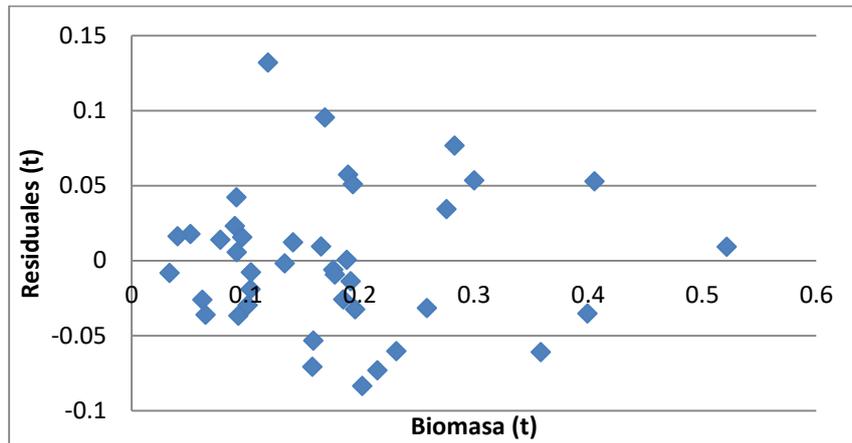
31. Análisis de residuos del modelo 85: $B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} \cdot h + b_2 \cdot \text{dcopa}$



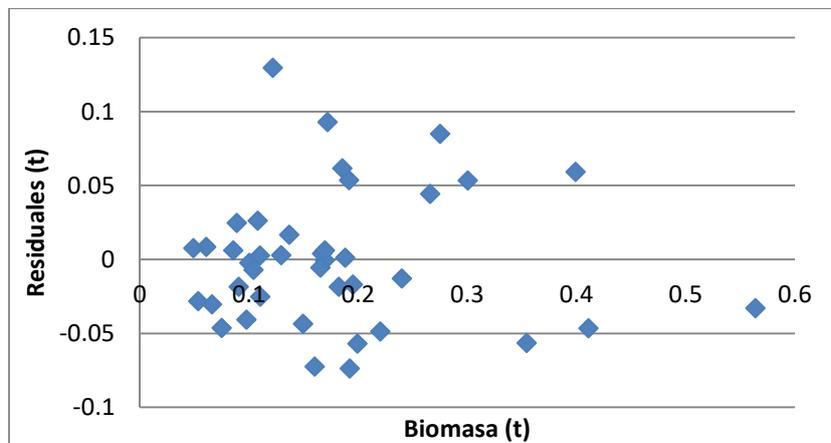
32. Análisis de residuos del modelo 86: $B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 \cdot h + b_2 \cdot \text{dcopa}$



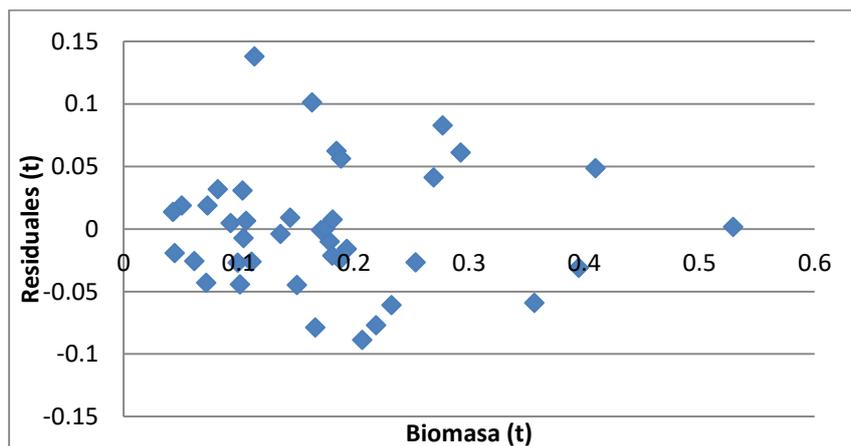
33. Análisis de residuos del modelo 87: $B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^3 \cdot h + b_2 \cdot \text{dcopa}$



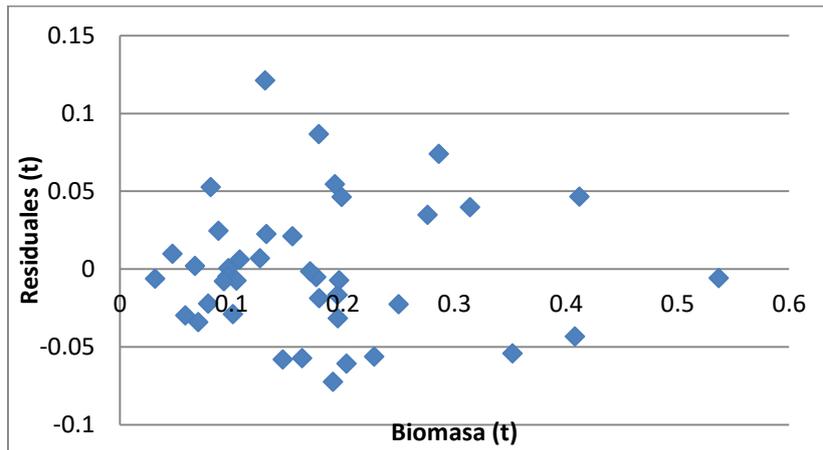
34. Análisis de residuos del modelo 88: $B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} \cdot h^2 + b_2 \cdot \text{dcopa}$



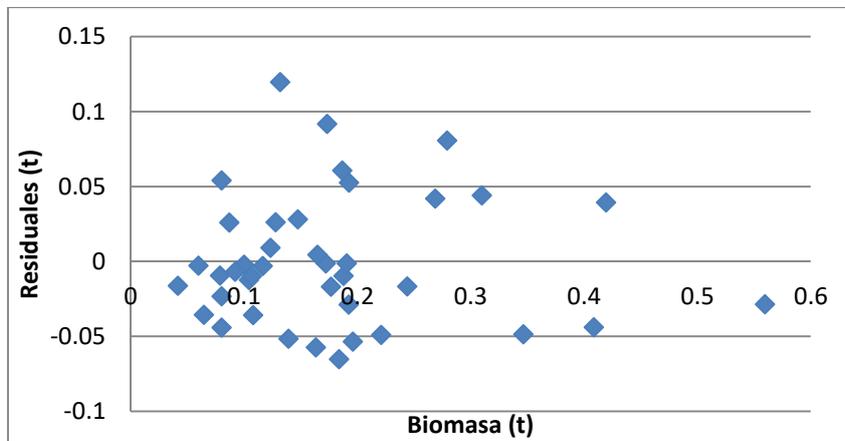
35. Análisis de residuos del modelo 89: $B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 \cdot h^2 + b_2 \cdot \text{dcopa}$



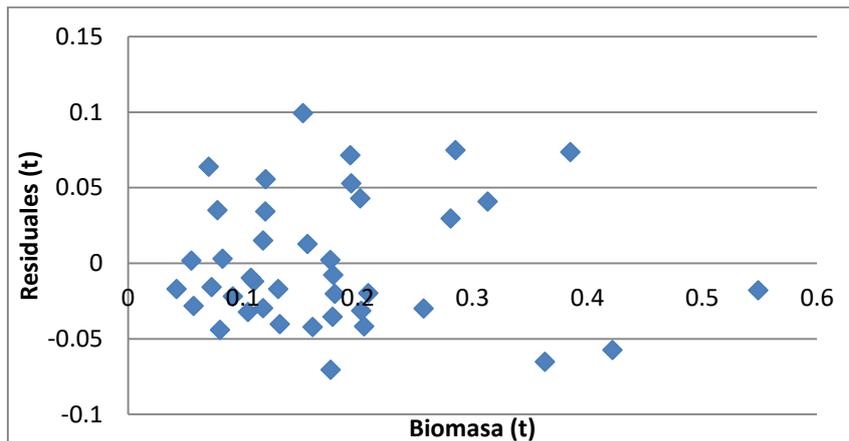
36. Análisis de residuos del modelo 90: $B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} \cdot h^3 + b_2 \cdot \text{dcopa}$



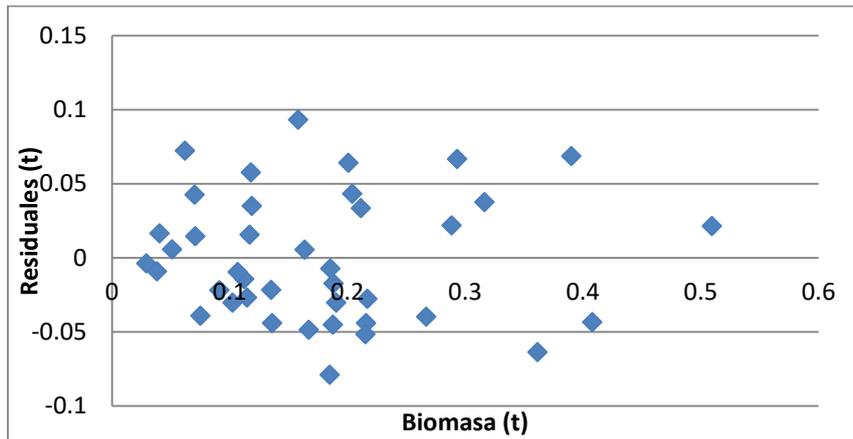
37. Análisis de residuos del modelo 91: $B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} \cdot h + b_2 \cdot \text{dcopa}^2$



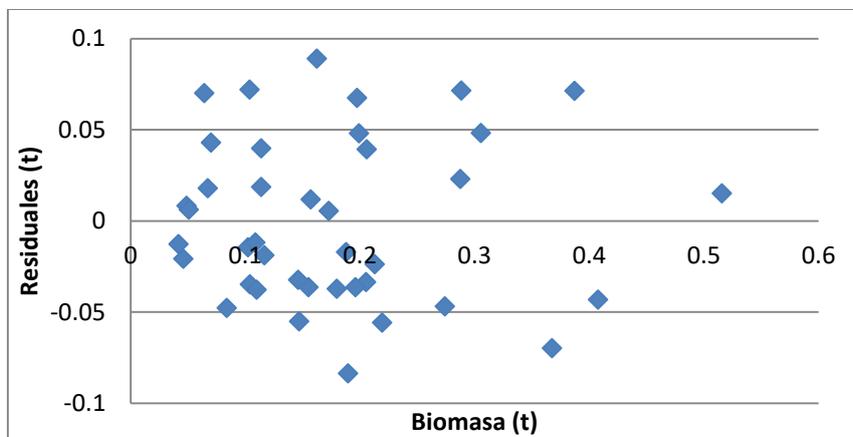
38. Análisis de residuos del modelo 92: $B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} \cdot h + b_2 \cdot \text{dcopa}^3$



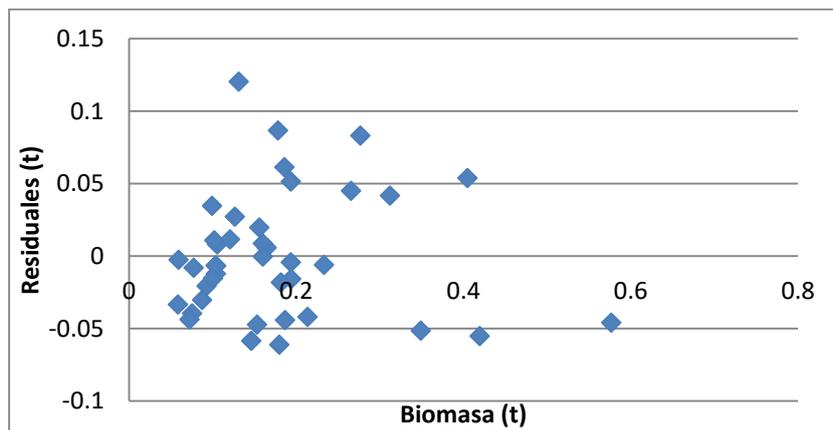
39. Análisis de residuos del modelo 93: $B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap}^2 + b_2 \cdot h \cdot \text{dcopa}$



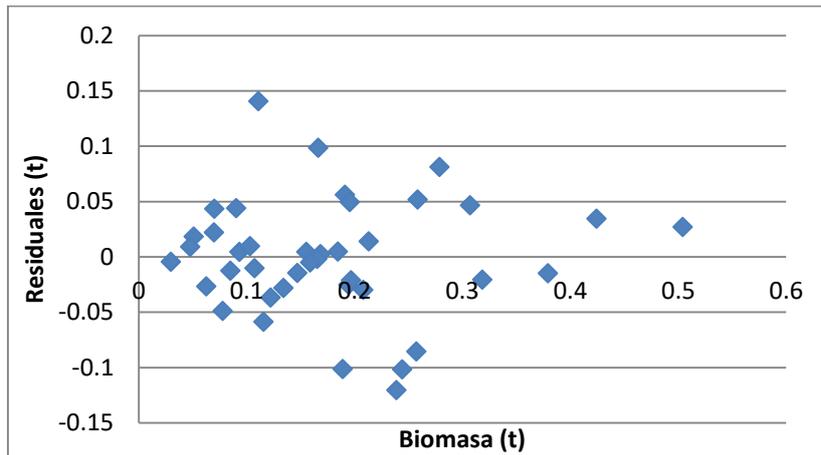
40. Análisis de residuos del modelo 94: $B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot h \cdot \text{dcopa}$



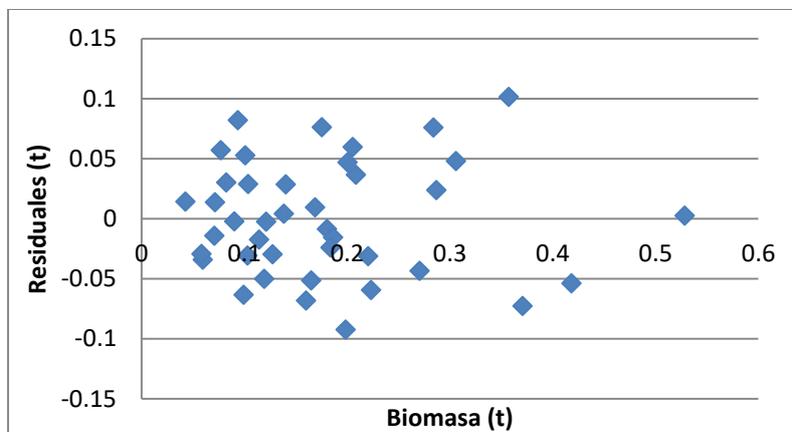
41. Análisis de residuos del modelo 95: $B = b_0 + b_1 \cdot \text{dap} + b_2 \cdot h^2 \cdot \text{dcopa}$



42. Análisis de residuos del modelo 96: $B = b_0 + b_1 \cdot \text{dcopa}^2 + b_2 \cdot \text{dap}^2 \cdot h$



43. Análisis de residuos del modelo 97: $B = b_0 + b_1 \cdot h^2 + b_2 \cdot h \cdot \text{dcopa}$



44. Análisis de residuos del modelo 98: $B = b_0 + b_1 \cdot h^2 + b_2 \cdot h \cdot \text{dap}$

ANEXO 4: CANTIDAD Y CONDICIÓN DE LAS ECUACIONES PONDERADAS

<i>N° de modelo</i>	<i>Cantidad de Ecuaciones ponderadas con diferentes factores</i>	<i>R²</i>	<i>F</i>	<i>t - Student</i>	<i>Condición final</i>
1	1	Rechazado			
	12	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
2	1	Rechazado			
	12	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
3	1	Rechazado			
	6	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
	6	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
4	1	Rechazado			
	12	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
5	1	Rechazado			
	1	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
	11	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
6	13	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
7	13	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
8	13	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
9	1	Rechazado			
	12	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
10	13	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
11	13	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
12	13	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
13	13	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
18	1	Rechazado			
	12	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
19	1	Rechazado			
	12	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
20	1	Rechazado			
	2	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
	10	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
21	13	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
30	2	Rechazado			
	11	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
	40	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
31	1	Rechazado			
	51	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
	1	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Homocedástico
33	1	Rechazado			
	11	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
	38	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
34	3	Rechazado			

	47	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
36	3	Rechazado			
	12	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
	35	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
57	1	Rechazado			
	2	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
	47	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
58	3	Rechazado			
	47	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
59	3	Rechazado			
	47	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
60	2	Rechazado			
	24	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
	24	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
61	1	Rechazado			
	46	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
	3	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
62	1	Rechazado			
	49	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
64	1	Rechazado			
	1	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
	48	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
67	3	Rechazado			
	47	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
85	4	Rechazado			
	1	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
	49	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
86	3	Rechazado			
	51	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
87	3	Rechazado			
	51	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
88	4	Rechazado			
	2	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
	48	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
89	4	Rechazado			
	1	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
	49	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
90	3	Rechazado			
	4	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
	47	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
91	4	Rechazado			
	50	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
92	4	Rechazado			
	33	Aceptado	Aceptado	Rechazado	

	17	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
93	4	Rechazado			
	1	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
	49	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
94	4	Rechazado			
	1	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Homocedástico
	49	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
95	4	Rechazado			
	1	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Homocedástico
	49	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
96	4	Rechazado			
	27	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
	23	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
97	2	Rechazado			
	8	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
	40	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
98	2	Rechazado			
	47	Aceptado	Aceptado	Rechazado	
	1	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Heterocedástico
TOTAL: 1 625 ecuaciones ponderadas					

ANEXO 5: PANORAMA DEL ÁREA DE ESTUDIO



ANEXO 6: VISTA INTERIOR DEL BOSQUE



ANEXO 7: REGRESIÓN PONDERADA DEL MODELO 31 ($1/K = 1/DAP^{0,5}$)

ESTADÍSTICAS DE REGRESIÓN

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,98125248
Coefficiente de determinación R ²	0,96285643
R ² ajustado	0,93382164
Error típico	0,00857293
Observaciones	40

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	3	0,07049173	0,023497242	319,711532	5,4072E-26
Residuos	37	0,00271932	7,34951E-05		
Total	40	0,07321105			

DETERMINACIÓN DEL INTERCEPTO Y COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	0	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
bo/dap0,5	0,95530453	0,10239475	9,3296242	2,9371E-11	0,74783306	1,16277599
b1*dap/dap0,5	0,99262924	0,13064101	7,5981444	4,5933E-09	0,72792542	1,25733307
b2*dcopa/dap0,5	0,95483325	0,16541206	5,7724523	1,2767E-06	0,61967657	1,28998992

ANEXO 8: REGRESIÓN PONDERADA DEL MODELO 94 ($1/K = 1/DAP^{0,5}$)

ESTADÍSTICAS DE REGRESIÓN

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,97566189
Coefficiente de determinación R ²	0,95191612
R ² ajustado	0,92228996
Error típico	0,0097541
Observaciones	40

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	3	0,06969077	0,023230258	244,162865	5,6375E-24
Residuos	37	0,00352027	9,51425E-05		
Total	40	0,07321105			

DETERMINACIÓN DEL INTERCEPTO Y COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	0	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
b ₀ /dap ^{0,5}	0,95583516	0,15926401	6,001576709	6,2479E-07	0,63313563	1,2785347
b ₁ *dap/dap ^{0,5}	0,99021147	0,18172059	5,449088037	3,4992E-06	0,62201059	1,35841235
b ₂ *h*dcopa/dap ^{0,5}	0,96266577	0,23130487	4,161891403	0,00018055	0,49399757	1,43133396

ANEXO 9: REGRESIÓN PONDERADA DEL MODELO 95 ($1/K = 1/DCOPA^{0,5}$)

ESTADÍSTICAS DE REGRESIÓN

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,97295258
Coefficiente de determinación R ²	0,94663672
R ² ajustado	0,91672519
Error típico	0,01860644
Observaciones	40

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	3	0,22723182	0,07574394	218,786891	3,6768E-23
Residuos	37	0,01280939	0,0003462		
Total	40	0,2400412			

DETERMINACIÓN DEL INTERCEPTO Y COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	0	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
b0/dcopa0,5	0,97841609	0,27054752	3,61642973	0,00088568	0,43023475	1,52659744
b1*dap/dcopa0,5	0,95894493	0,19968199	4,80236065	2,5936E-05	0,55435079	1,36353908
b2*h2*dcopa/dcopa0,5	1,05479275	0,29680942	3,55377113	0,00105795	0,45339974	1,65618577