

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL



**Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea y carbono en *Polylepis racemosa*
en un bosque relicto ubicado en la comunidad de Bella Andina, Chota, Cajamarca**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y
AMBIENTAL**

AUTOR

José Wilson Herrera Vásquez

ASESOR

Dr. Guillermo Alejandro Chávez Santacruz

Universidad Nacional Autónoma de Chota


Dr. Guillermo A. Chávez Santa Cruz
Docente

CO-ASESOR

Ing. Juan Rodrigo Baselly Villanueva



CHOTA- PERÚ

ABRIL, 2022

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 011-2022/EPIFA - FCA/UNACH

Siendo las 19:15 horas, del día 20 de julio de 2022, en video conferencia del aplicativo Teams, los miembros del Jurado de Tesis titulada: “Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea y carbono en *Polylepis racemosa* en un bosque relicto ubicado en la comunidad de Bella Andina, Chota, Cajamarca.”, integrado por:

1. M. Sc. Duberlí Geomar Elera Gonzáles Presidente
2. Mtr. Denisse Milagros Alva Mendoza Secretario
3. M. Cs. Jim Jairo Villena Velásquez Vocal

Asesorado por: Dr. Alejandro Chávez Santa Cruz y coasesor Ing. Juan Rodrigo Baselly Villanueva. Sustentada por el Bach. José Wilson Herrera Vásquez, con la finalidad de obtener el Título Profesional en Ingeniería Forestal y Ambiental.

Terminada la sustentación, con las preguntas formuladas por los integrantes del Jurado y las respuestas otorgadas por el graduando, luego de deliberar, acuerda Aprobar la tesis, calificándola con la nota de: Quince (15), se eleva la presente Acta al Coordinador de la Facultad de Ciencias Agrarias, a fin de que se le declare EXPEDITO para conferirle el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental

Firmado en: Chota, 20 de julio del 2022

.....
M. Sc. Duberlí Geomar Elera Gonzáles
Presidente

.....
Mtr. Denisse Milagros Alva Mendoza
Secretario

.....
M. Cs. Jim Jairo Villena Velásquez
Vocal



Constancia de Originalidad

El que suscribe, Director de la Unidad de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis Titulado **“Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea y carbono en *Polylepis racemosa* en un bosque relicto ubicado en la comunidad de Bella Andina, Chota, Cajamarca.”**; desarrollado por el **Bach. José Wilson Herrera Vásquez**; presenta una SIMILITUD IGUAL O MENOR al 25% por lo que cumple con el criterio de evaluación de originalidad establecido en el REGLAMENTO DE GRADOS Y TÍTULOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA aprobado mediante RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 120-2022-UNACH.

Chota, 06 de julio de 2022.

Atentamente;

M.Sc. Duberli Geomar Elera González
Director Unidad de Investigación EPIFA

CO-015-EPIFA-FCA

Agradecimientos

Mi agradecimiento a todos los docentes por compartir sus conocimientos, dedicación, tiempo y motivarme a salir adelante y aquellos que gentilmente aportaron en el desarrollo de mi tesis para optar mi título profesional.

A mis asesores al Ingeniero Alejandro Chávez Santa Cruz y al Ingeniero Juan Rodrigo Baselly Villanueva y, por el estímulo a seguir creciendo intelectualmente, por su apoyo, trabajo y capacidad por guiar este proyecto de investigación que ha sido una contribución invaluable en el impulso de este trabajo de tesis.

Al Ingeniero Yolmer Mírez Rubio por su orientación, que ha sido fundamental y guía en el desarrollo de la investigación.

Dedicatoria

A mi mamá Aurelia Vásquez Acuña , por darme la vida, que siempre me ha brindado su apoyo incondicional, paciencia, tiempo y su infinito amor.

A mi padre Victor Rogelio Herrera Ducep, por ser mi ejemplo de lucha y trabajo, sin tu apoyo emocional y económico se hubiera hecho esto complicado, gracias por darme una carrera para mi futuro, en parte esto te lo debo a ti.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO II.....	14
MARCO TEÓRICO	14
3.1 . Antecedentes	14
3.1 Bases teóricas.....	16
2.1 Captura de carbono.....	16
2.2 Biomasa.....	17
2.3 <i>Polylepis racemosa</i> Ruiz & Pavon.....	17
3.1 Marco conceptual.....	17
2.1 Ecuación alométrica	17
2.2 Regresión lineal.....	17
2.3 Correlacion	18
2.4 Parámetros de ajuste.....	18
2.5 Coeficiente de determinación.....	18
2.6 Bosque natural.....	18
2.7 Inventario forestal	18
2.8 Características de la especie <i>Polylepis racemosa</i>	19
CAPÍTULO III.....	19
MARCO METODOLÓGICO	19
3.1 Ubicación	19
3.2 Población y muestra.....	24
3.2.1 Población	24
3.2.2 Muestra	24
3.3 Equipos, materiales e insumos.....	24
3.4 Metodología de la investigación	25
3.4.1 <i>Tipo de investigación</i>	25
3.4.2 <i>Diseño de investigación</i>	25
3.4.3 Flujograma del proyecto de investigación.....	26
3.4.4 Trabajo en campo	27
3.4.4.3 Determinación y selección de los árboles por clase diamétrica.	28
3.4.4.4 Medición de árboles muestra.	28
3.4.4.5 Separación y pesaje de componentes de cada árbol	28
3.4.4.6 Selección, extracción y pesaje de las muestras de cada árbol	28
CAPÍTULO IV.	34

Resultados y discusión	34
CONCLUSIONES.....	50
RECOMENDACIONES	51
CAPÍTULO V.....	52
REFERENCIAS BIBILOGRAFÍCAS	52
ANEXOS	64

Índice de tablas

Tabla 1	Modelos alométricos para estimar la biomasa y captura de carbono.....	33
Tabla 2	Criterios de evaluación del coeficiente de determinación.....	34
Tabla 3	Distribución de clases diamétricas	36
Tabla 4	Estadísticos descriptivos de variables dasométricas.....	37
Tabla 5	Biomasa aérea de los 11 árboles de <i>P. racemosa</i>	39
Tabla 6	Modelos alométricos ajustados para estimar la biomasa.....	41
Tabla 7	Análisis de normalidad del modelo alométrico 6 para estimar biomasa de los valores observados.....	43
Tabla 8	Carbono en los componentes aéreos.....	45
Tabla 9	Modelos alométricos ajustados para estimar el contenido de carbono.....	48
Tabla 10	Análisis de normalidad del modelo alométrico 6 para estimar carbono estimado.....	50
Tabla 11	Estimación de Carbono secuestrado por ha en el bosque de <i>P.racemosa</i>	52
Tabla 12	Registro de biomasa en el laboratorio.....	69
Tabla 13	Significancia de los modelos usados para estimar biomasa de <i>P. racemosa</i> ..	70
Tabla 14	Significancia de los modelos usados para estimar carbono de <i>P. racemosa</i> ..	71

Índice de figuras

Figura 1	Plano de ubicación y localización.....	24
Figura 2	Descripción general del trabajo de investigación	28
Figura 3	Medición del D50 en individuos de <i>Polylepis racemosa</i>	29
Figura 4	Histograma de frecuencias del D50, ht, NR, DC	38
Figura 5	Análisis de correlación de las variables dasométricas para estimar la biomasa aérea.....	40
Figura 6	Comportamiento lineal de la relación de la biomasa aérea y las variables dasométricas.	41
Figura 7	Análisis gráfico del mejor modelo alométrico para estimar a biomasa aérea de <i>P. racemosa</i>	43
Figura 8	Dispersión de los valores de biomasa estimada en función al D50 cm	44
Figura 9	Análisis de correlación de las variables dasométricas para la captura de carbono	46
Figura 10	Comportamiento lineal de la relación de la captura de carbono	47
Figura 11	Análisis gráfico del mejor modelo alométricas para contenido de carbono .	49
Figura 12	Dispersión de los valores de carbono en función al D50 cm	50
Figura 13	Identificación botánica de <i>polylpies racemosa</i>	66
Figura 14	Medición del D50 cm.....	66
Figura 15	Medición de la ht con hipsómetro.....	67
Figura 16	Peso del componente fuste	67
Figura 17	Codificación de las muestras de los componentes fuste y ramas.....	68
Figura 18	Transporte de muestra de <i>Polylepis racemosa</i>	68
Figura 19	Pesado de muestras en balanza con plato superior	67

Resumen

El calentamiento global es causado por el aumento de la concentración de CO₂ y la disminución de las áreas con cobertura forestal principalmente de bosque naturales y relictos andinos que son las principales fuentes de sumideros de carbono para contrarrestar el cambio climático. El objetivo en el estudio fue determinar ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea y carbono en *Polylepis racemosa* del bosque relicto en la comunidad Bella Andina, Chalamarca, Chota-Cajamarca, para ello, se realizó un censo forestal de los individuos de *Polylepis racemosa*, mediante el registro del diámetro a 50 centímetros sobre el suelo, número de ramas, altura del fuste y diámetro de copa. Fueron inventariados 1232 árboles distribuidos en 11 clases diamétricas, en seguida, se estimó la biomasa y carbono mediante el método destructivo de 11 árboles. Las probetas fueron secadas en estufa a $105 \pm 2^\circ\text{C}$ por cinco días para determinar la biomasa seca, la elección de la mejor ecuación alométrica fue mediante los indicadores estadísticos R^2 , R^2 ajustado, RECM, Sxy, E y AIC, la ecuación alométrica que mejor estimó la biomasa aérea en *Polylepis racemosa* en el bosque relicto de Bella Andina fue $\text{LnBA} = 2,394988 + 0,082807 * D50$; con $R^2 = 0,932$; R^2 ajustado 0,925; $\text{RECM} = 16,826$; $E = 0,363$; $S_{xy} = 50,477$; $\text{AIC} = 32,013$ y el mejor modelo para estimar carbono es $\text{LnBA} = 1,8177 + 0,08644 * D50$; alcanza un $R^2: 0,833$; R^2 ajustado = 0,815; $\text{RECM} 16,673$; $E = 0,259$; $S_{xy} = 50,0182$ y un $\text{AIC} = 1,926$; concluyendo que por lo menos una ecuación alométrica ajustada es estadísticamente superior y adecuada para estimar biomasa aérea y carbono en árboles de *P. racemosa* el área de estudio.

Palabras claves: quinal, servicio ecosistémico, captura de carbono, ecuaciones alométricas, bosque relicto.

Abstract

Global warming is caused by the increase of CO₂ concentration and the decrease of forest cover areas, mainly natural forests and Andean relict forests, which are the main sources of carbon sinks to counteract climate change. The objective of the study was to determine allometric equations to estimate the aerial biomass and carbon in *Polylepis racemosa* of the relict forest in the Bella Andina community, Chalamarca, Chota-Cajamarca. For this purpose, a forest census of *Polylepis racemosa* individuals was carried out by recording the diameter at 50 cm above the ground (cm), number of branches, height of the trunk and crown diameter. A total of 1232 trees distributed in 11 diameter classes were inventoried, then the biomass and carbon of 11 trees were estimated by the destructive method. The specimens were dried in an oven at 105± 2°C for five days to determine the dry biomass, the choice of the best allometric equation was made using the statistical indicators R, adjusted R², RECM, S_{xy}, E and AIC, the allometric equation that best estimated the aerial biomass in *P. racemosa* in the Bella Andina relict forest was $\text{LnBA}=2,394988+0,082807*D50$; with R²= 0,932; adjusted R² 0,925; RECM=16,826; E=0,363; S_{xy}=50,477; AIC= 32,013 and the best model to estimate carbon is $\text{LnC}=1,8177+0,08644*D50$; it reaches an R²: 0,833; adjusted R²=0,815; RECM 16,673; E= 0,259; S_{xy}=50,0182 and AIC=1,926; concluding that at least one adjusted allometric equation is statistically superior and adequate to estimate aboveground biomass and carbon in trees of *Polylepis racemosa* trees in the study area.

Key words: quinal, ecosystem service, carbon sequestration, allometric equations, relict forest.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

Según estrada *et al.* (2003), aporta que la disminución de la cobertura forestal ocasiona el aumento de CO₂, por su parte Lanchimba (2017) sostiene que, ante la constante deforestación y la pérdida de bosques, es necesario establecer estrategias de conservación como fuentes de sumideros de carbono para contrarrestar el cambio climático. Gómez (2015) menciona que, en las zonas de páramo, los bosques naturales amortiguan el 51% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero.

Cordella (2017) menciona que para hacer frente al cambio climático se debe conocer el valor de los bienes, servicios ecosistémicos y su importancia en la mitigación para tomar las mejores decisiones en cuanto a su conservación, gestión sostenible y aumentar las reservas de carbono forestal.

Diversos estudios realizados por Caluña (2017), Navarro *et al.* (2013) y Alvis, (2018) describen que el cambio climático es un problema ambiental muy grave, dado que, está directamente relacionado a la deforestación; millones de personas viven del aprovechamiento y extracción de madera que repercute de manera negativa en el medio ambiente. Estrada *et al.* (2003); Pumasupa (2018), Gómez (2015) y Cordella (2017) concuerdan que la deforestación permite el aumento de CO₂ e influye en el calentamiento global.

Díaz y Gálvez (2019) manifiestan que el manejo y uso inadecuado de los bosques ocasiona cambios en el planeta como el incremento de la temperatura en la atmósfera. Los bosques y arbustales del género *Polylepis* forman pequeños parches comúnmente presentes en laderas de montañas y quebradas rocosas a lo largo de la cordillera de los Andes (Cuyckens y Renison, 2018). En este sentido la conservación del género *Polylepis* contribuye a minimizar los efectos del cambio climático porque almacena CO₂ en sus tres componentes fuste, ramas y follaje (Mollocondo y Aguilar, 2019).

Este género representa la vegetación natural de una gran parte de los andes centrales en altitudes que van desde 3 500 hasta 5 200 m.s.n.m (Kessler, 2006) y se distribuyen en los Andes del Perú (Caluña, 2017). Existen 28 especies de *Polylepis* que se distribuyen desde el límite superior de los bosques de neblina hasta zonas del Altiplano (Navarro *et al.*,2013). La conservación y restauración de bosques relictos de *Polylepis* provee servicios ambientales como captura de CO₂, además contribuye a mitigar el cambio climático y genera mayor bienestar de las comunidades rurales (Sarcca Huisa,2017).

Trinidad y Cano (2016) mencionan que en la actualidad los bosques de *Polylepis* son uno de los ecosistemas más amenazados del mundo y se distribuyen a manera de parches como resultado del proceso de degradación y alteración a los que fueron sometidos durante siglos por la intervención humana, factores económicos, sociales y culturales que afectan directamente la protección y manejo de los bosques relictos. Sin embargo, estos ecosistemas cumplen un rol central en la ecología altoandina como sumidero de CO₂ (Castro y Flores, 2015; Alvis, 2018)

La estimación y el monitoreo de los stocks de carbono son un primer paso para conocer el valor de los bosques y plantaciones forestales (Delgado, 2020). Los proyectos forestales de conservación de bosques o relictos de *Polylepis* contribuyen a la fijación de

carbono y diversifican sus ingresos mediante la productividad de la tierra (Choque, 2019). Por ello Pumasupa (2018) coincide en establecer la protección y manejo de los bosques relictos para aumentar el servicio ambiental con la fijación de carbono, regulación de recursos hídricos y biodiversidad.

Según Chalco y Gen (2015) los bosques relictos de *P. racemosa* son sistemas complejos que contribuyen a mitigar el cambio climático almacenando CO₂ en su vegetación y en el suelo intercambiando CO₂ con la atmósfera a través del proceso fotosintético y la respiración. Por ello es importante realizar modelaciones alométricas para obtener una estimación confiable y directa de la biomasa en sistemas vegetales como *P. racemosa* (Rivera, 2018).

Solano *et al.* (2014) consideran que para estimar la biomasa forestal mejor se usan ecuaciones ajustadas con datos obtenidos a través del método destructivo mediante factores de expansión y corrección. Emanuelli *et al.* (2017) indican que los modelos alométricos son herramientas para estimar la biomasa forestal de los componentes aéreos y subterráneos. Estas funciones se fundamentan en variables como el diámetro normal, altura total y el volumen (Pompa, 2009).

Bravo *et al.* (2007) consideran que las modelaciones alométricas permiten cuantificar el potencial de crecimiento vegetal y fijación de gases con efecto invernadero. Siendo alternativa de valoración de las áreas forestales para el pago de servicios ambientales por captura y secuestro de CO₂. (Vargas, 2019).

Del mismo modo, Gómez *et al.* (2011) establecen que las ecuaciones alométricas son métodos que facilitan la estimación de biomasa y carbono a pequeña y gran escala. Para estimar la biomasa y captura de carbono se utilizan diferentes tipos de modelos de regresión y combinación de variables (Fonseca *et al.*, 2009); diversas investigaciones

concluyen que el DAP es la variable que mejor se correlaciona y ajusta para predecir la biomasa aérea (Aristizábal, 2011). Además, es fácil de medir en el campo y se registra en los inventarios forestales (Brown *et al.*,1989).

Con la finalidad de proporcionar información científica sobre la biomasa y captura de carbono en bosques relictos de *P. racemosa* se planteó como objetivo principal determinar una ecuación alométrica para estimar la biomasa aérea y carbono en *P. racemosa* de un relicto de bosque en la comunidad Bella Andina, Chalamarca, Chota-Cajamarca, y como objetivos específicos, 1) realizar un censo forestal que permita determinar el número de individuos y la distribución diamétrica de *P. racemosa* en un bosque relicto en la comunidad Bella Andina, 2) ajustar ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea de *P. racemosa* en un relicto en la comunidad Bella Andina, Chalamarca, Chota-Cajamarca, 3) ajustar ecuaciones alométricas para estimar el contenido de carbono aéreo de *Polylepis racemosa* en un bosque relicto en la comunidad Bella Andina, Chalamarca, Chota – Cajamarca. Se planteó como hipótesis alternante que por lo menos una ecuación alométrica ajustada es estadísticamente superior y adecuada para estimar biomasa aérea y carbono en árboles de *P. racemosa* en la comunidad de Bella Andina.

CAPÍTULO II.

Marco teórico

3.1 . Antecedentes

Tello y Vargas (2019) determinaron que las ecuaciones con mejor ajuste para estimar biomasa de cuatro especies de árboles fueron $Y = \exp[-2,289 + 2,649 * \ln(D) - 0,021 * (\ln(D))^2]$, $B = 0.1184 * D^{2.53}$, $B = \text{EXP}(-1.996 + 2.32 * \text{LN}(D))$, $B = -26.63 + 0.42 * (D^2)$; mientras que Cuenca *et al.*, (2014) obtuvieron coeficientes de determinación 0,910; 0,999; 0.936;1 respectivamente, estimando 1998,04 t C/ha en *Schinus latifolius*, seguido por *Vachellia macracantha* 1329,91 t C/ha, *Eucalyptus globulos* 667,94 t C/ha y por último la *Pouteria lucuma* 25,20 t C/ha.

Andrade y Arias (2016) determinaron que la ecuación que mejor estima el contenido de carbono en 11 sumideros del distrito Metropolitano de Quito en Ecuador es $CC = 0,18254xD^{2.3627}$ determinando que la mayor cantidad de carbono se encuentra en la zona Metropolitana Norte con un valor de 2090,55 t C/ha, mientras que en menor cantidad en la zona Itchimbía con 17,70 t C/ha.

Antepara (2019) desarrolló un modelo alométrico para la estimación de la biomasa aérea de *Tecoma castaneifolia*, cuyas pruebas estadísticas y criterios de validación indicaron que el mejor modelo fue $B = 0,065D^2 + 0,57D - 1,371$ con $R^2=0,84$, los criterios de selección fueron $AIC=153,13$, $BIC=56,54$, $RMSE=2,03$ y $RRMSE=38,34\%$, un peso de $AIC=74,80$ y un peso de $BIC=77,6$ demostrando que tiene un alto nivel de pronóstico de biomasa, en un rango de 0,8 a 12cm de diámetro de tocón.

Acosta *et al.* (2002) determinaron que el modelo $\ln(Y) = b_0 + b_1 \ln(X)$ fue el mejor ($R^2 = 0,97$) para estimar la biomasa de seis especies agrupadas en dos subgrupos, en el subgrupo QLI las tres especies de mayor porte (*Alnus*, *querus* y *Rapanca*), mientras que en el subgrupo ACR las tres de menor tamaño (*Clethra*, *Liquidambar* y *Inga*).

Návar (2013) determinó la biomasa aérea total de *Trichospermum mexicanum* mediante la ecuación alométrica $M = \rho w * e(-0,67 + 1,78 \ln(D) + 0,207 \ln(D)^2 - 0,028 \ln(D)^3)$ con un R^2 de 0,83 y; sugiere realizar el ajuste por el método destructivo y desarrollar la alometría a nivel del árbol *in situ*.

Lopez (2019) estimó la biomasa y contenido de carbono en plantaciones forestales de *Polylepis incana* y *Polylepis reticulata* mediante el método directo, muestreó 104 individuos en total, 56 de la especie *P. incana* y 48 de *P. reticulada*. El carbono almacenado en la biomasa de las plantaciones fue de 0,0879 t/ha a dos años, 0,281 t/ha cuatro años; 10,89 t/ha a ocho años y 20,55 t/ha a los 17 años de edad, para la especie *P. incana* y 0,00869 t/ha a dos años; 0,0592 t/ha a cuatro años y 9,18 t/ha a ocho años de edad, para *P. reticulata*, las relaciones de biomasa aérea sobre la biomasa subterránea fueron mayores a la unidad en todas las plantaciones de las dos especies.

Soriano (2015) estimó la biomasa por componente estructural para *Pinus patula* y 11 especies de latifoliadas, mediante el modelo de biomasa $B = \text{Exp}(-\beta) * (dn^2 * h)^{\beta_1}$, sus resultados indicaron que la biomasa de las especies estudiadas se distribuye 68.2 % en el fuste, seguido 14,3; 9,3 y 8,2 % en las ramas, la corteza y el follaje.

Benavides (2014) determinó la biomasa aérea para *Acacia pennatula* mediante el modelo $y = 0,4357x - 8,3423$ donde y: biomasa; x: DAP, determinando la relación entre el diámetro de la base y longitud del rebrote alcanzando $R^2 = 0,635$.

Ramírez (2017) comparó seis ecuaciones alométricas a través del criterio de información de Akaike (AIC), R^2 ajustado y validación cruzada. El modelo $B = -\exp(-1,996 + 2,32 \ln(D))$ obtuvo un valor de AIC de 48,36 y un R^2 ajustado de 0,96; considerado el mejor para estimar la biomasa epigea de selvas medianas subcaducifolias.

España (2016) determinó la biomasa aérea y carbono en *Alnus* mediante los modelos alométricos $B = -163,36 + 44,42 \ln (DAP \times DB)$ y $C = 37,157 + 1,75 \times 10^{-4} (DAP \times DB \times ht)$ los cuales mostraron coeficientes de determinación de 0,93 y 0,90 respectivamente.

Guillen y Salome (2019) realizó un muestreo aleatorio en donde se seleccionaron al azar 15 parcelas de 10m x 10m de un total de 10 rodales tomando los datos dasométricos (DAP, altura comercial y total, volumen de ramas con diámetros mayores a 4 cm) y biomasa, posteriormente se realizó el trabajo de laboratorio determinando que la *Polylepis sp* almacena 132,834 tC.

Mírez (2021) estudió los modelos alométricos que mejor estiman la biomasa aérea de *Pinus patula* en Chota, Cajamarca, determinando que los modelos que mejor estima la biomasa $\text{Log}(BA) = -1,26088 + 0,86431 * \text{Log}(d2 + ht) + \epsilon$, y para almacenamiento de CO₂ es el modelo $\text{Log}(CC) = -1,56191 + 0,86431 (d2 * ht) + \epsilon$, concluyendo que los mejores modelos alométricos son aquellos que utilizan el DAP y la ht como variables.

3.1 Bases teóricas

2..1 Captura de carbono

La captura de CO₂ según Guillen y Salome (2019) se da en tres componentes principales de un árbol: el fuste, ramas y follaje. El carbono en el fuste es la parte orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal, desde encima del suelo hasta los 2/3 partes de los árboles. El carbono en las ramas es la cantidad de biomasa seca multiplicado por 0,5 que puede llegar a secuestrar tanto en sus ramas principales y secundarias (Rimarachín, 2019) y el carbono en el follaje está determinado por toda la biomasa seca leñosa muerta (Rojas y Lucerito, 2017).

El carbono total esta determinado como la suma del carbono del fuste, ramas y follaje, componentes que permiten ajustar modelos alométricos (Cieza, 2019).

2..2 Biomasa

Riechmann (2015) menciona que la biomasa originaria es la que se produce en ecosistemas naturales. Acosta *et al.* (2020) establece que la biomasa aérea total de un árbol corresponde a la sumatoria de la biomasa seca del fuste (trozas y tocón) y de la copa (ramas y follaje).

2..3 *Polylepis racemosa* Ruiz & Pavon

Es una especie de planta que se encuentra en peligro de extinción, pertenece a la familia rosáceae, endémica en Perú y Bolivia e introducida en Ecuador (Magin *et al.*, 1990).

3.1 Marco conceptual

2..1 Ecuación alométrica

Las ecuaciones alométricas son modelos que permiten estimar una característica de una planta (biomasa, carbono, volumen, altura) a partir de la medición de características dasométricas fáciles de medir en campo (Marroquín, 2019).

Riofrío y Grijalva (2013) determinaron que los modelos alométricos generados con la metodología SUR (*Seemingly Unrelated Regressions*) son capaces de estimar la biomasa de especies arbóreas y arbustivas en sistemas agroforestales cuyas variables explicativas son la altura total y el diámetro.

2..2 Regresión lineal

Describe la relación entre dos variables X e Y, de tal manera que incluso se pueden hacer predicciones sobre los valores de la variable Y, a partir de los de X. Cuando la asociación entre ambas variables es fuerte, la regresión nos ofrece un modelo estadístico que puede alcanzar finalidades predictivas (Laguna, 2014).

$$ax + b = 0; a \neq 0$$

Ecuación 1

Donde a: coeficiente principal; x: incógnito; b: término independiente.

2..3 Correlacion

Según Laguna (2014) las correlaciones permiten examinar la dirección y la fuerza de la asociación entre dos variables cuantitativas. Así conoceremos la intensidad de la relación entre ellas y si, al aumentar el valor de una variable, aumenta o disminuye el valor de la otra variable.

2..4 Parámetros de ajuste

Nos permite encontrar los valores de una variable a partir de los de otra, usando una relación funcional de tipo lineal o no lineal. En una regresión lineal, buscamos cantidades a (ordenada en el origen) y b (pendiente de la recta lineal) tales que se pueda describir $Y = a + bX$, con el menor error posible entre \hat{Y} e Y (Díaz y Wärnberg, 2014).

2..5 Coeficiente de determinación

Medida más importante de la bondad de ajuste, que determina las variaciones que se producen en la variable dependiente (Pérez y Rosas, 2013). Este coeficiente nos indica el grado de ajuste de la recta de regresión a los valores de la muestra, y se define como el porcentaje de la variabilidad total de la variable dependiente que es explicada por la recta de regresión (Rodríguez, 2005).

2..6 Bosque natural

Suntasig (2012) hace mención que el bosque es un área forestal que tiene características netas de ecosistemas nativos, como su complejidad, diversidad biológica y su estructura, conteniendo las características edáficas, florísticas y faunísticas, en la cual todos o casi todos los árboles son especies propias de la zona.

2..7 Inventario forestal

Permite recolectar información sistemática de los datos sobre los recursos forestales de una zona determinada. Además, evalúa el estado actual y sienta las bases del análisis y la planificación, que constituyen el punto de partida de una gestión forestal sostenible (Figueroa, 2018).

2..8 Características de la especie *Polylepis racemosa*.

Pertenece a la familia Rosacea, se encuentra en los bosques húmedos de montaña de Perú y Bolivia, considerada en peligro de extinción, es polinizada por el viento. Se caracteriza por poseer un tronco retorcido, que alcanzan entre 15-20 m de alto y troncos hasta 30 a 40 cm de DAP (Dellafiore *et al.*, 2015)

El polen se caracteriza por ser mónada, con una forma isopolar y relativamente esférico achatado ligeramente a los polos (Cuyckens y Renison, 2018). Sus frutos son esencialmente aquenios son indehiscentes que poseen una sola semilla con protuberancia alargada (Arreaga, 2019). Las flores de todas las especies del género están organizadas en inflorescencias y en su mayoría de los casos son colgantes, en algunos casos son reducidas y se mantienen casi ocultas entre las axilas de la hoja (Andrade y Oliva, 2015).

Son muy importantes económicamente porque posee múltiples usos, como fuente de leña y madera para la construcción de corrales, mangos de herramientas y dinteles y la corteza posee propiedades medicinales para curar enfermedades respiratorias, renales, además se utiliza como tinte para teñir tejidos y lo más importante que pueden servir como sumideros de carbono (Marlay, 2015).

CAPÍTULO III.

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ubicación

El estudio se realizó en la comunidad Bella Andina del distrito de Chalamarca, provincia de Chota, región Cajamarca que tiene como centroide 6°33'17.72"S, 78°33'6.87"O con altitud 3607 **m.s.n.m.**

El distrito de Chalamarca se encuentra a una altura de 3581 **m.s.n.m.**, la comunidad Bella Andina es zona altoandina y se caracteriza por presentar temperaturas bajas y ventosas que oscilan entre 4 y 16 °C.

- **Accesibilidad**

El acceso a la comunidad de Bella Andina es por carretera afirmada a una hora y 20 minutos de la provincia de Chota y 50 min. del distrito de Chalamarca.

- **Características edafoclimáticas**

La comunidad de Bella Andina presenta climas nublados en invierno, con precipitación mensual promedio de 51 ml.

- **Relieve**

Su relieve está conformado por extensas planicies donde se encuentran numerosas nacientes de aguas como lagunas y manantiales.

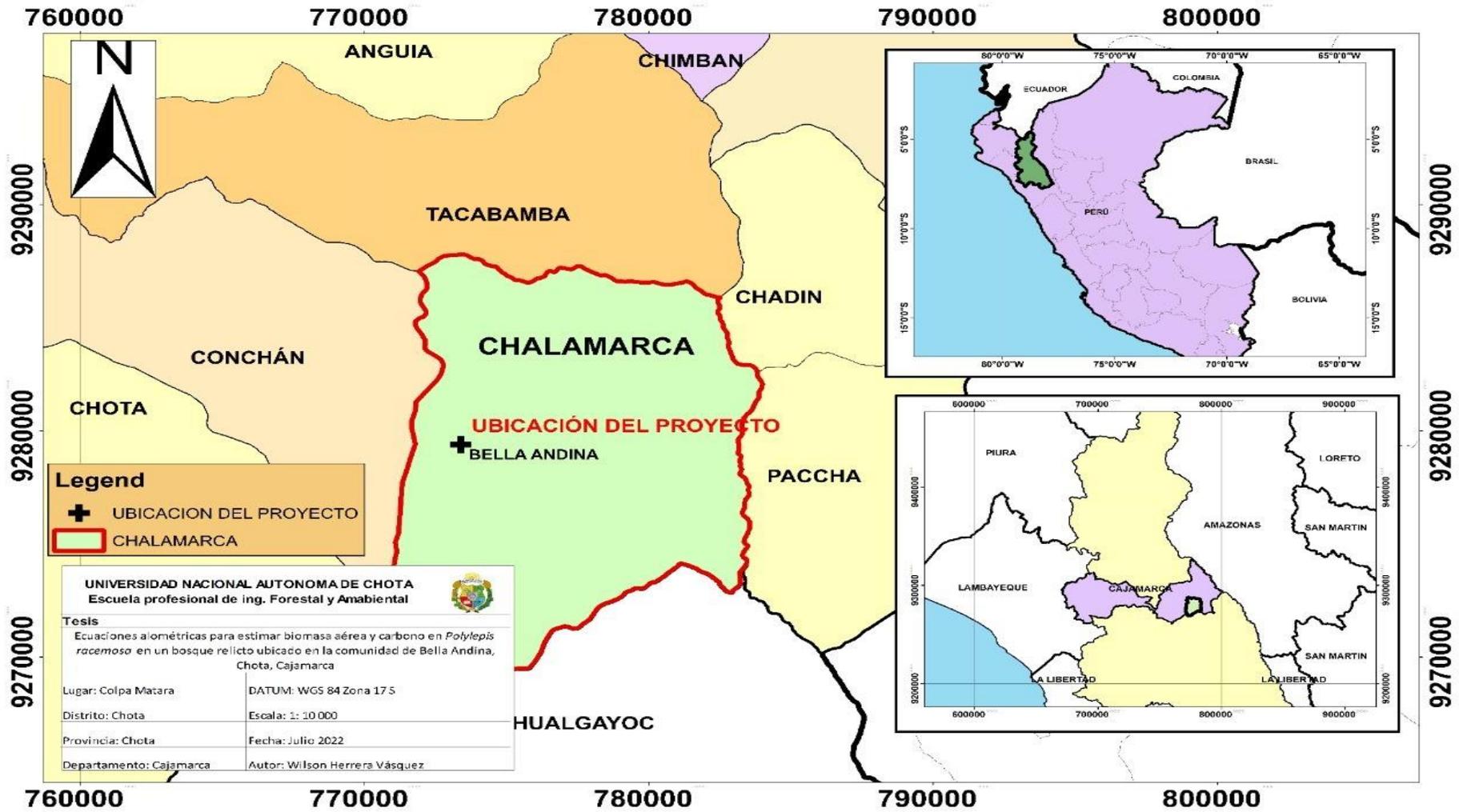
- **Flora**

La flora predominante es el *Stipa ichu*, pasto andino empleado como forraje para alimento del ganado, se caracteriza por alcanzar un tamaño hasta 60 cm y otras especies forrajeras como la avena (*Avena sativa* L) y el heno (*Tillandsia usneoides*).

- **Principales actividades**

La población de la comunidad Bella Andina se dedica principalmente a la ganadería y agricultura en la que destaca la siembra de diferentes variedades de papa, oca y olluco.

Figura 1. Plano de ubicación y localización.



3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

Está conformada por los 1232 individuos que son parte del bosque relicto de *P. racemosa* ubicado en la comunidad de Bella Andina, con una extensión de 1.42 ha.

3.2.2 Muestra

La muestra estuvo conformada por 11 individuos distribuidos por clase diamétrica de los árboles *P. racemosa* siguiendo la recomendación de Soares *et al.* (2012)

La selección de los individuos muestra fue igual al número de clases o categorías de tamaño relacionadas con las características del bosque relicto (D50, altura total, diámetro de copa).

3.3 Equipos, materiales e insumos

En la investigación se utilizaron principalmente los siguientes equipos, materiales e insumos:

- GPS
- Cámara fotográfica
- Estufa
- Machete
- SERRUCHO
- Hipsómetro
- Motosierra
- Laptop
- Balanza con resorte
- Balanza con plato superior
- Calculadora
- Formularios de campo
- Lápices y marcadores
- Cinta métrica
- Libreta de campo
- Mapa base

- Impresora
- Bolsas ziploc
- Machete
- Cooler

3.4 Metodología de la investigación

3.4.1 Tipo de investigación

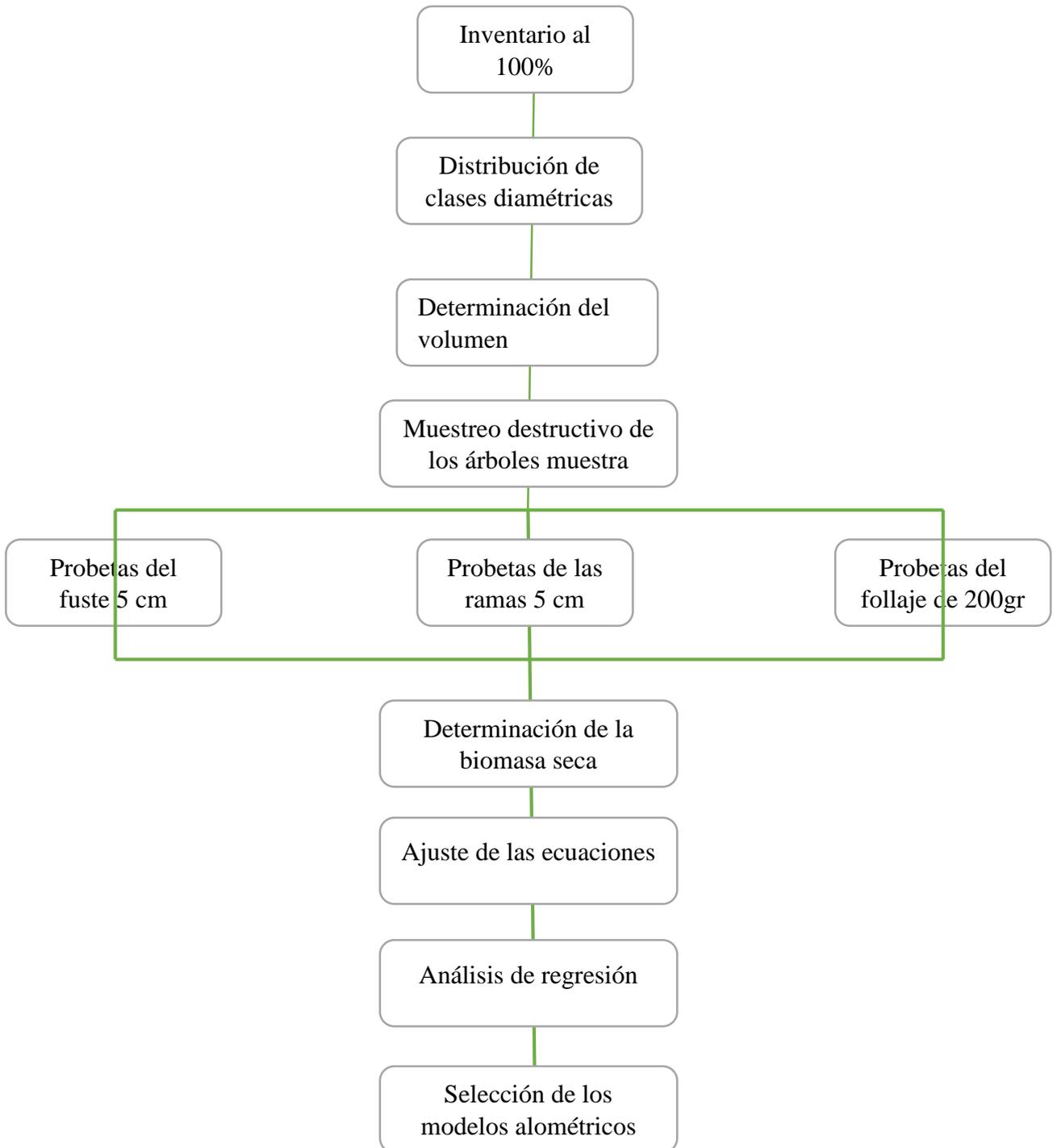
La investigación es Cuasi-experimental (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018), porque no hubo manipulación de variables, solo se observó y se tomaron los datos tal como se dan en su contexto natural siendo correlacionadas y analizadas. De corte transversal porque la recolección de datos de las variables dasométricas D50, ht, número de ramas y diámetro de copa siendo correlacionadas para ajustar las ecuaciones alométricas para estimar la biomasa y captura de carbono

3.4.2 Diseño de investigación

La presente investigación es del tipo regresión porque se busca describir la relación estadística entre variables dependientes e independientes (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018) referentes a la altura del diámetro a 50 cm, sobre el suelo, número de ramas, altura del fuste, diámetro de copa, biomasa y captura de carbono.

3.4.3 Flujograma del proyecto de investigación

Figura 2 Descripción general del trabajo de investigación



3.4.4 Trabajo en campo

3.4.4.1 Identificación de la especie

Se realizó con la finalidad de validar e identificar la taxonomía de la especie mediante la colecta botánica siguiendo lo sugerido por Rodríguez y Rojas (2006), Figura 13.

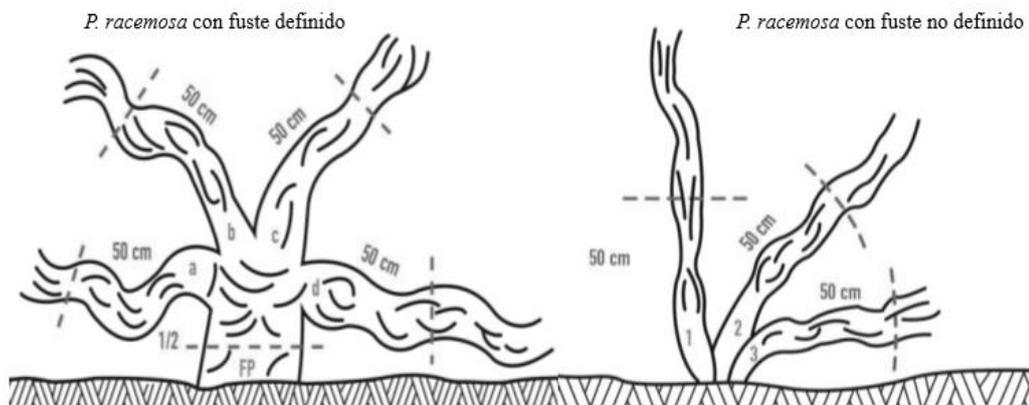
3.4.4.2 Inventario al 100% de individuos de *Polylepis racemosa*.

Se realizó un inventario al 100% de los árboles de *P. racemosa* siguiendo lo sugerido por el MINAM (2012) mediante el método de fajas donde se midieron las variables dasométricas: D50 (diámetro a 50 centímetros sobre el nivel del suelo), altura total (ht), número de ejes por planta y diámetro de copa (DC).

A los individuos con fuste definido se midió con cinta métrica (Figura 11) el D 50 de cada uno de los árboles con fuste definido a 50 cm sobre el nivel del suelo y las ramas a 50 cm de la ramificación en sentido horario codificadas con letras minúsculas. Y los individuos con un fuste no definido se midieron el D50 y cada uno de los ejes a 50 centímetros de la base, codificados con números arábigos en sentido horario.

Los datos fueron registrados en el formato de campo para el inventario forestal (Anexo 2) y procesados con el fin de conocer la distribución de árboles por clase diamétrica.

Figura 3 Medición del D50 en individuos de *Polylepis racemosa*



Fuente. Tomado de Masías (2017)

Con el hipsómetro se realizó la medida de la altura total de cada uno de los individuos de *P. racemosa* (Figura 16).

3.4.4.3 Determinación y selección de los árboles por clase diamétrica

Los datos del inventario forestal fueron agrupados por clases diamétricas D50 se tomó en cuenta el límite superior e inferior, el rango, amplitud y número de clases.

Se identificaron 11 intervalos de las clases diamétricas de 2 cm de amplitud, a partir de las cuales se seleccionó 01 árbol por clase diamétrica que fueron derribados.

3.4.4.4 Medición de árboles muestra

Los árboles muestra fueron seleccionados siguiendo la metodología sugerida por Soares *et al.* (2012) midiendo por repetido el D50, altura total, número de ramas y diámetro de copa.

3.4.4.5 Separación y pesaje de componentes de cada árbol

La separación de los componentes del fuste principal se realizó con arco sierra y machete.

3.4.4.6 Selección, extracción y pesaje de las muestras de cada árbol

Los componentes del fuste principal, ramas y follaje fueron pesados en una balanza con resorte de precisión 0,01g. Posteriormente de donde se extrajo probetas de 5 cm.

3.4.4.7 Selección de la muestra del fuste, ramas principales y follaje

La codificación de cada árbol se realizó considerando letras mayúsculas (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K) una vez talado el árbol, la extracción de las muestras del fuste, ramas principales y follaje fue realizada, cada uno de los componentes fueron separados del fuste principal de donde se extrajo la muestra y fueron pesados de forma independiente en una balanza con resorte (Figura 17) siguiendo lo sugerido por el MINAM (2016).

Las muestras del fuste se tomaron en cada tercio de 5 cm de tamaño y fueron codificadas con letras mayúsculas y números arábigos (MBFA1-n), las muestras de las ramas tomadas de la parte media de las ramas principales fueron con letras mayúsculas y números arábigos (MBRA1-n) y las muestras de follaje estuvo representada por 200 g de follaje de cada uno de los árboles que fueron pesados en una balanza con plato superior en el laboratorio de tecnología de la madera de la universidad nacional autónoma de Chota.

Cada componente inmediatamente se pesó en una balanza de resorte de precisión 0,01g con el fin de conocer la biomasa húmeda.

3.4.4.8 Transporte de las muestras

Las muestras fueron colocadas en bolsas Ziploc y en cooler e inmediatamente fueron llevadas al laboratorio de Tecnología de la Madera de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la UNACH, Figura 19.

3.4.4.9 Fase de gabinete

3.4.4.9.1 Secado de muestras

Las muestras de los tres componentes fuste, ramas y follaje (biomasa verde) fueron ingresadas al laboratorio y se registró en el formato 1 (Tabla 11)

Las muestras de cada componente fueron pesadas, luego colocadas en la estufa, el secado se realizó a una temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Se pesaron las muestras de cada componente del árbol diariamente a $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por un periodo de cuatro días. Se respetó la codificación de cada muestra de ingreso al laboratorio de tecnología de la madera.

3.4.4.9.2 Procesamiento de datos de campo

- **Determinación de la biomasa**

Para estimar la biomasa seca del fuste, ramas y hojas se utilizó la fórmula propuesta por Soares (1995) Ecuación 1,

$$PS(c) = \frac{PU(s).PS(a)}{PU(a)} \quad \text{Ecuación 1}$$

PS (c) = peso seco del componente, en kg; PU (c) = peso húmedo de ramas y hojas de cada árbol, en kg; PU (a) = peso húmedo de la muestra de ramas y hojas, en kg; y PS (a) = peso de materia seca de la muestra de ramas y hojas, en kg.

- **Biomasa total del árbol**

Para estimar la biomasa total aérea se utilizó la ecuación propuesta por Souza (1989) Ecuación 2.

$$Bt = Bf + Brp + Bh \quad \text{Ecuación 2}$$

Bt: biomasa área total; *Bf*: biomasa del fuste; *Brp*: biomasa de las ramas principales; *Bh*: biomasa del follaje

Díaz *et al.* (2007) y Dauber (2020) coinciden que para determinar el contenido de carbono el contenido de carbono se multiplica el valor de la biomasa por el factor 0,5, factor que representa la concentración de carbono promedio para especies arbóreas (IPCC, 2005)

- **Carbono total del árbol**

El carbono almacenado en cada árbol se determinó con la fórmula propuesta por Rüginitz *et al.*, 2009 Ecuación 3.

$$CBT = Bt \times 0,5 \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde: CBT = carbono almacenado total (ton/ha), Bt = biomasa total (ton/ha).

3.4.4.10 Procesamiento estadístico

Se utilizó R para el análisis estadístico y ajuste de ecuaciones alométricas, realizado de la siguiente manera:

Se realizó la estadística descriptiva de la biomasa y captura de carbono de los 11 individuos muestreados.

Gráficos de dispersión de variables dependientes e independientes, con el propósito la relación de las variables. Se determinó el coeficiente de correlación de Pearson, para determinar la correlación entre variables independientes y con la variable dependiente.

Para estimar la biomasa y contenido de carbono se ajustaron 10 modelos alométricos, Tabla 2.

Tabla 1 Modelos alométricos para estimar la biomasa y captura de carbono.

	Ecuación de los Modelos probados	Modelos (Nombre)
1	$Y = \beta_0 \cdot d50^{\beta_1}$	Navar (2009)
2	$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot d50^2$	Acosta <i>et al.</i> , (2002)
3	$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot d50 + \beta_2 \cdot d50^2 + \beta_3 \cdot d50^2 \cdot ht$	Brown <i>et al.</i> (1989)
4	$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot d50$	Berkhout
5	$\ln(Y) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(d50)$	Brown <i>et al.</i> (1989)
6	$\ln(Y) = \beta_0 + \beta_1 \cdot d50$	Brown <i>et al.</i> (1989)
7	$\log(Y) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log(d50^2 \cdot ht)$	Brown <i>et al.</i> (1989)
8	$Y = \beta_0 + B1 \cdot (d50^2 \cdot ht)$	Brown <i>et al.</i> (1989)
9	$\ln(Y) = \beta_0 + \beta_1 \cdot (d50^2 \cdot ht)$	Brown <i>et al.</i> (1989)
10	$\ln(Y) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(d50) + \beta_2 \cdot \ln(ht)$	Brown (1997)

Donde: Y = biomasa o carbono, d50 = diámetro a 50 cm del nivel del suelo; h = altura; b, X = parámetros del modelo, Ln = Logaritmo natural; β_0 , β_1 y β_2 = Coeficientes de los modelos.

Realizado en análisis de regresión se determinó la existencia estadística de los modelos y parámetros mediante las pruebas de “F” y “t”,

realizándose a una significancia de $\alpha \leq 0.05$ y un 95 % de confianza. Cuando los modelos no presentaron significancia fueron rechazados.

La bondad de ajuste también fue verificado a través del coeficiente de determinación de los estadísticos de ajuste Coeficiente de determinación – R^2 (ecuación 4), Coeficiente de determinación ajustado – R^2_{aj} (ecuación 5), Error cuadrático medio – RMSE, Sesgo (E), Error estándar residual – S_{yx} (ecuación 8) y (ecuación 9), y el Índice de Akaike (AIC).

en cada modelo alométrico se calculó el coeficiente de determinación (R^2), coeficiente de correlación ajustado R^2 ajustado, Raíz del error medio cuadrático (REMC), Sesgo (E), Error padrón residual y el Índice de Akaike (AIC).

$$R^2 = \frac{\sum_{T=1}^t (\hat{Y}_T - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde Y_i : valor estimado por el modelo; \bar{Y} : promedio de los valores observados en campo de la variable dependiente.

Tabla 2 *Criterios de evaluación del coeficiente de determinación.*

Intervalo	Calificación
$R^2 = 1$	Ajuste perfecto
$0,8 \leq R^2 \leq 1$	Ajuste excelente
$0,5 \leq R^2 \leq 0,8$	Ajuste regular
$0 \leq R^2 \leq 0,5$	Ajuste pobre

Fuente: Tomado de Meza 2013.

$$R^2_{ajust} = 1 - (1 - R^2) \frac{(n - 1)}{n - p - 1} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde, R^2_{ajust} : es el coeficiente de determinación ajustado; R^2 n: número de observaciones de la muestra k: número de variables independientes.

$$REMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - p}} \quad \text{Ecuación 6}$$

La RECM de los valores predichos para t veces la regresión de la variable dependiente, con Y variables observadas, T veces, t se sustituye por i y T se sustituye por n .

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n} \quad \text{Ecuación 7}$$

E : sesgo; Y_i : medición promedio para cada parte; n : tamaño de la muestra

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - p - 1}} \quad \text{Ecuación 8}$$

S_{xy} : error estándar de estimación \hat{Y}_i : valor estimado por el modelo; Y_i : valor observado en campo de la variable dependiente; n : número de observaciones utilizadas en el ajuste, p : número de variables independientes en el modelo.

$$AIC = n \cdot \text{Log} \hat{\sigma}^2 + 2 \cdot K \quad \text{Ecuación 9}$$

k : parámetros en el modelo estadístico; L : máximo valor de la función de verosimilitud para el modelo estimado.

El análisis gráfico de los resultados del ajuste se hizo a través del gráfico de valores observados y valores estimados, de valores estimados vs residuos, para verificar la calidad de ajuste de las ecuaciones alométricas.

Análisis de normalidad, para determinar la normalidad de los residuos, se aplicó el test de Lilliefors la prueba de Kolmogorov-Smirnov o Shapiro-Wilk con un nivel de confianza de 5%.

Eligiendo el mejor modelo para estimar biomasa y contenido de carbono de acuerdo a los indicadores estadísticos y los supuestos (normalidad y homogeneidad de varianza)

CAPÍTULO IV.

Resultados y discusión

En la Tabla 3 se muestra la frecuencia de los individuos de *P. racemosa* distribuidos en 11 clases diamétricas (Distribuidos entre el rango 6,05 a 38,20), la mayor cantidad de individuos se encuentran en las clases 10,4; 13,2; 16,0; 18,8 y 21,6 cm con 217, 347, 202, 159 y 107, individuos, respectivamente y la menor cantidad se encuentra en la marca de clase 30,0; 32,8 y 36; 2 cm con 10, 6 y 3 individuos. Se ha registrado un D50 máximo de 38,19 centímetros y un D50 mínimo de 6 centímetros de 1232 individuos de *P. racemosa*.

Tabla 1 Distribución de clases diamétricas

N° de clases	Li	Ls	X	fi	Fi	ni	Ni
1	6,05	9,05	7,5	66	66	0,05	5
2	9,05	11,85	10,4	217	283	0,23	23
3	11,85	14,65	13,2	347	630	0,51	51
4	14,65	17,45	16,0	202	832	0,68	68
5	17,45	20,25	18,8	159	991	0,81	81
6	20,25	23,05	21,6	107	1098	0,89	89
7	23,05	25,85	24,4	84	1182	0,96	96
8	25,85	28,65	27,2	30	1213	0,98	98
9	28,65	31,45	30,0	6	1218	0,99	99

10	31,45	34,25	32,8	10	1228	100	100
11	34,25	38,20	36,2	3	1232		

Li: límite inferior, Ls: límite superior; X: marca de clase; fi: frecuencia absoluta, Fi: frecuencia absoluta acumulada, ni: frecuencia relativa; Ni: frecuencia relativa acumulada.

Apolinario y Peláez (2018) registraron 1000 individuos por hectárea de *Polylepis Incana* y *Polylepis sericea*, distribuidos en 11 clases diamétricas; por su parte Taipe (2018) reportó 650 a 855 individuos por hectárea de *P. incana*, resultados que se asemejan con lo reportado en nuestro estudio; Paucar (2018) estimó la biomasa aérea de *P. flavipila* reportando que los individuos alcanzaron diámetros entre 10 y 30 cm.

Las medidas dasométricas del diámetro 50 centímetros (D50), altura total (ht), número de ramas (NR) y diámetro de copa (DC) de los 11 árboles de *Polylepis racemosa* evaluados, los indicadores estadísticos, muestran que la media del D50, ht, NR y DC de copa es 21,64, 460, 3,36, 480,63 cm respectivamente y el coeficiente de variación oscila entre 27, 48 a 43, 63, la desviación estándar (sd) del D50, ht, NR y DC de copa alcanzó valores de 0,92 a 162,25 y el coeficiente de variación (CV) varía entre 27,48 a 43,63 valores que se encuentran en el nivel de alta variabilidad (> 25%). Apolinario y Peláez (2018) obtuvieron resultados similares para *P. racemosa* y *P. Incana*, el diámetro varió desde 6 a 18 cm. Estudios realizados por Barthlott *et al.* (2005); Barreto (2011) y Vanclay (2006) aportan que los coeficientes de variación son superiores al 50 %. Herrera (2019) considera que la distribución de las variables dasométricas depende de la edad y tamaño de los individuos en estudio y de las características edafoclimáticas.

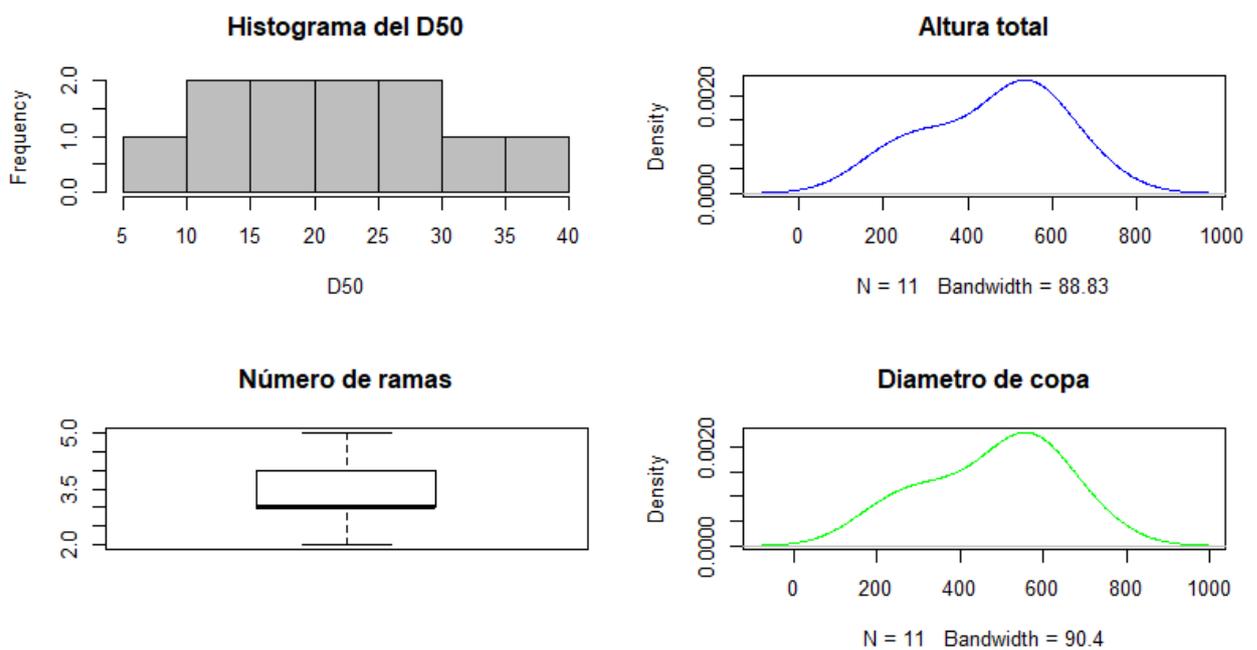
Tabla 2 Estadísticos descriptivos de variables dasométricas.

N° árbol	D50 (cm)	ht (cm)	N° de ramas	Ø de copa (cm)
1	7,5	180	2	195
2	10,4	260	2	275
3	13,2	310	3	327
4	16	380	3	410
5	18,8	470	3	477
6	21,6	520	4	535
7	24,4	500	4	536

8	27,2	560	3	587
9	30	580	4	595
10	32,8	600	4	626
11	36,2	700	5	724
Mean	21,64	460	3,36	480,63
Sd	9,39	159,43	0,92	162,25
CV (%)	43,63	43,39	27,48	33,75

Mean: media, Sd: desviación estándar, CV: coeficiente de variabilidad

Figura 4 Histograma de frecuencias del D50, ht, NR, DC



La marca de clase de D50 centímetros (Figura 4), se distribuye desde 7,5 a 36,2; la altura total (ht) se distribuye desde 180 a 700 cm, el número de ramas de 2 a 5 y el diámetro de copa de 195 a 724 cm. Taipe (2019) estimó la biomasa y captura de carbono en *P. incana* determinando que la altura total, diámetro promedio y la densidad de los árboles alcanzaron coeficientes de variación de 10,96%; 5,38% y 14,9% respectivamente; Salas, (2002) aporta que el coeficiente de variación es superior a 50% en bosques relictos.

Tabla 3 Biomasa aérea de los 11 árboles de *Polylepis racemosa*

Árbol	D50 cm	ht m	N° de ramas	Ø Copa m	Componentes (kg)			Biomasa total (kg)
					Fuste	Ramas	Follaje	
A	7,5	1,80	2	1,95	6,398	1,863	4,141	12,402
B	10,4	2,60	2	2,75	21,906	8,191	8,727	38,824
C	13,2	3,10	3	3,27	24,803	9,192	6,963	40,959
D	16	3,80	3	4,10	26,066	10,881	9,412	46,359
E	18,8	4,70	3	4,77	23,255	11,045	11,883	46,182
F	21,6	5,20	4	5,35	32,243	15,016	12,464	59,723
G	24,4	5,00	4	5,36	33,964	14,746	17,952	66,662
H	27,2	5,60	3	5,87	60,451	28,395	30,537	119,383
I	30	5,80	4	5,95	97,388	38,041	18,972	154,401
J	32,8	6,00	4	6,26	114,631	39,147	20,478	174,256
K	36,2	7,00	5	7,24	113,795	30,534	42,639	186,968

D50: diámetro 50, ht: altura total, N° de ramas: número de ramas; Ø Copa: diámetro de copa.

La biomasa total aérea por individuo varió de 12,402 a 186,968 en árboles de *P. racemosa* con D50 7,5 cm; ht 180 cm, diámetro de copa de 195 cm y D50 36,2; ht 700 cm, diámetro de copa de 700 cm respectivamente (Tabla 5). En los árboles de *P. racemosa* la mayor cantidad de biomasa aérea se concentra en el fuste con 55 %, seguido en el follaje con 31 % y menor cantidad en las ramas con 16 %. Montalvo *et al.* (2018) menciona que la cantidad de biomasa depende del número de individuos y del incremento de las variables dasométricas. Resultados similares reportaron Apolinario y Pelaez (2018), en individuos con diámetro de 11,2 centímetros alcanzaron 16,5 kg de biomasa; Por su parte Ginez (2019) en su estudio del género de *Polylepis* encontró que a biomasa se distribuye 52 % en fuste, 33 % en el follaje y 15 por ciento en las ramas, resultados similares reporto Yepes *et al.* (2016) determinaron la biomasa aérea en el distrito de Manejo Integrado en Colombia fue de 129.69 t/ha donde, en un área de 8 570.9 hectáreas en bosques de manglar, se estimó que el carbono total almacenado por este ecosistema es de aproximadamente 64,845 t /CO₂.

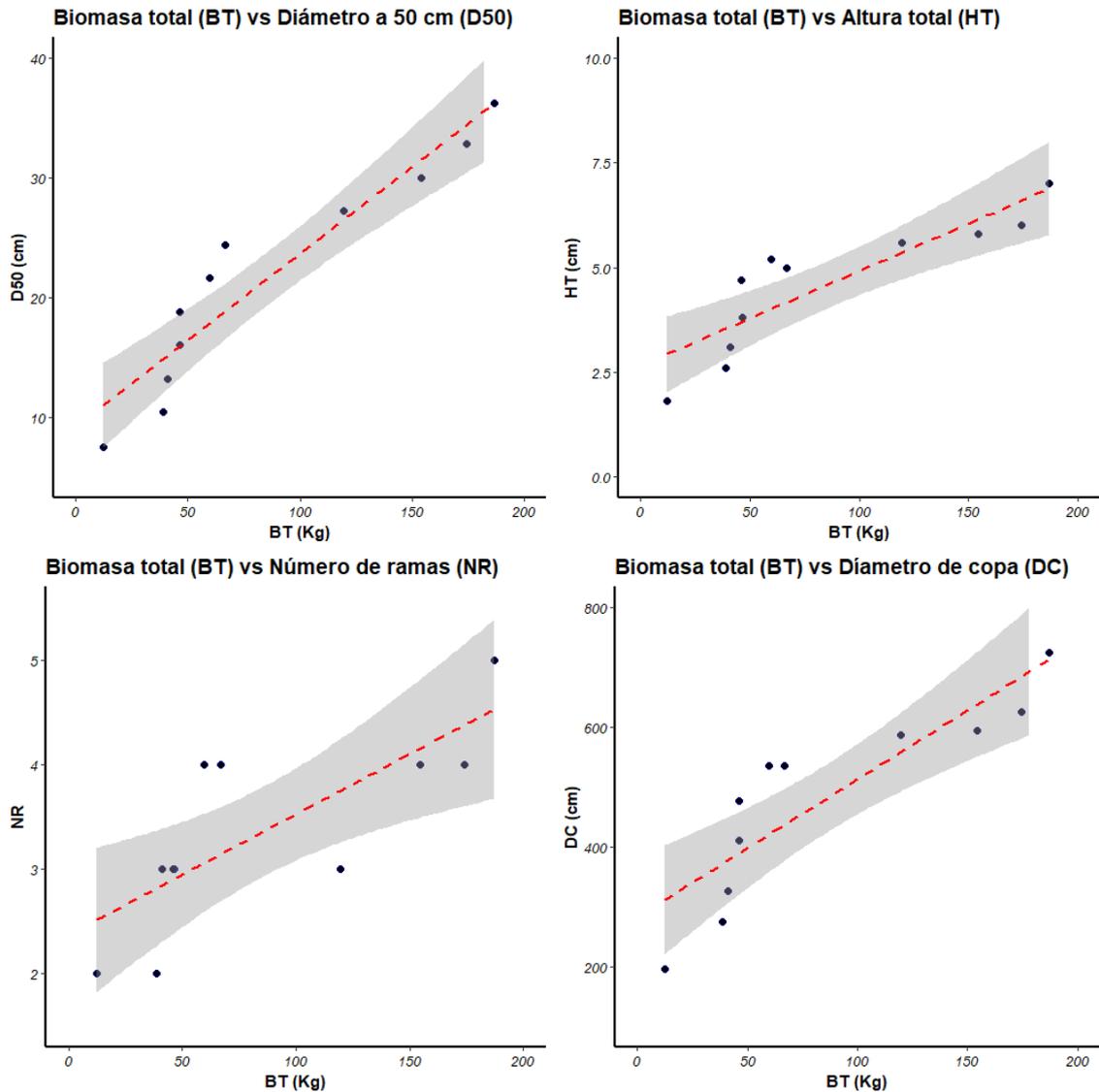
Figura 5 Análisis de correlación de las variables dasométricas para estimar la biomasa aérea.



Donde BT: biomasa total (kg); D50: diámetro 50 centímetros (cm); ht: altura total, NR: número de ramas (kg), DC: diámetro de copa; BF: biomasa del fuste (kg); BR: biomasa de las ramas, BFE: biomasa del follaje (kg), * significancia estadística.

La correlación de las variables para estimar la biomasa total aérea (BT) (Figura 4), el D50 y HT presentaron mayor grado de asociación con la biomasa (componentes y total) a comparación de NR y DC; indicando que serán las principales variables con r 0,98***; 0,90***; 0,90** y 0,83** respectivamente.

Figura 6 Comportamiento lineal de la relación de la biomasa aérea y las variables dasométricas.



Las variables dasométricas D50, ht, NR, DC (Figura 6) en relación a la biomasa seca aérea tienen una relación lineal positiva, mientras que Ramírez y Peláez (2018) en su investigación sobre la especie *Polylepis sericea* el DAP y la biomasa tiene una correlación polinomial.

Tabla 4 Modelos alométricos ajustados para estimar la biomasa

Modelo	Condición	R^2	r^2_{ajus}	RECM	E	Sxy	AIC
1	Rechazado	0,9439	0,9377	15,3212	1,4126	45,9637	31,1178
2	Rechazado	0,9479	0,9421	14,7633	0,0008	44,2900	30,7634
3	Rechazado	0,9623	0,9529	1,7677	-0,0010	37,6787	31,2188
4	Aceptado	0,8930	0,8811	21,1663	-0,0001	63,4988	34,2055

5	Rechazado	0,9151	0,9057	18,8494	2,9726	56,5482	3,0979
6	Aceptado	0,9324	0,9248	16,8255	0,3626	50,4766	32,0127
7	Rechazado	0,8874	0,8749	21,7069	3,5908	65,1206	34,4465
8	Aceptado	0,9317	0,9241	16,9077	0,0008	50,7232	32,0592
9	Aceptado	0,7896	0,7662	21,4853	4,8549	56,7531	38,1489
10	Rechazado	0,9499	0,9374	15,3593	1,7972	43,4428	32,5789

R^2 : coeficiente de correlación; r^2_{ajus} : coeficiente de correlación ajustado, RECM: raíz del error medio cuadrático; Sxy: error estándar de estimación; AIC: Índice de Akaike:

De los modelos aceptados para estimar la biomasa total (Tabla 12), se han obtenido buenos ajustes, pues los valores promedio para el R^2 y r^2_{ajus} fueron de 0,827 y 0,807 respectivamente. Los tres modelos que presentaron los mejores indicadores estadísticos fueron el 4, 6 y 8, con R^2 y r^2_{ajus} mínimos de 0,893 y 0,881; así como RECM, E, Sxy y AIC máximos de 0,363, 63,499 y 34,206, respectivamente. Los tres modelos estimaron correctamente la biomasa del *Polylepis*, por lo cual fueron evaluados para ver, cual cumple los supuestos del ANOVA (normalidad y homogeneidad de residuos).

Figura 7 Análisis gráfico del mejor modelo alométrico para estimar la biomasa aérea de *Polylepis racemosa*.

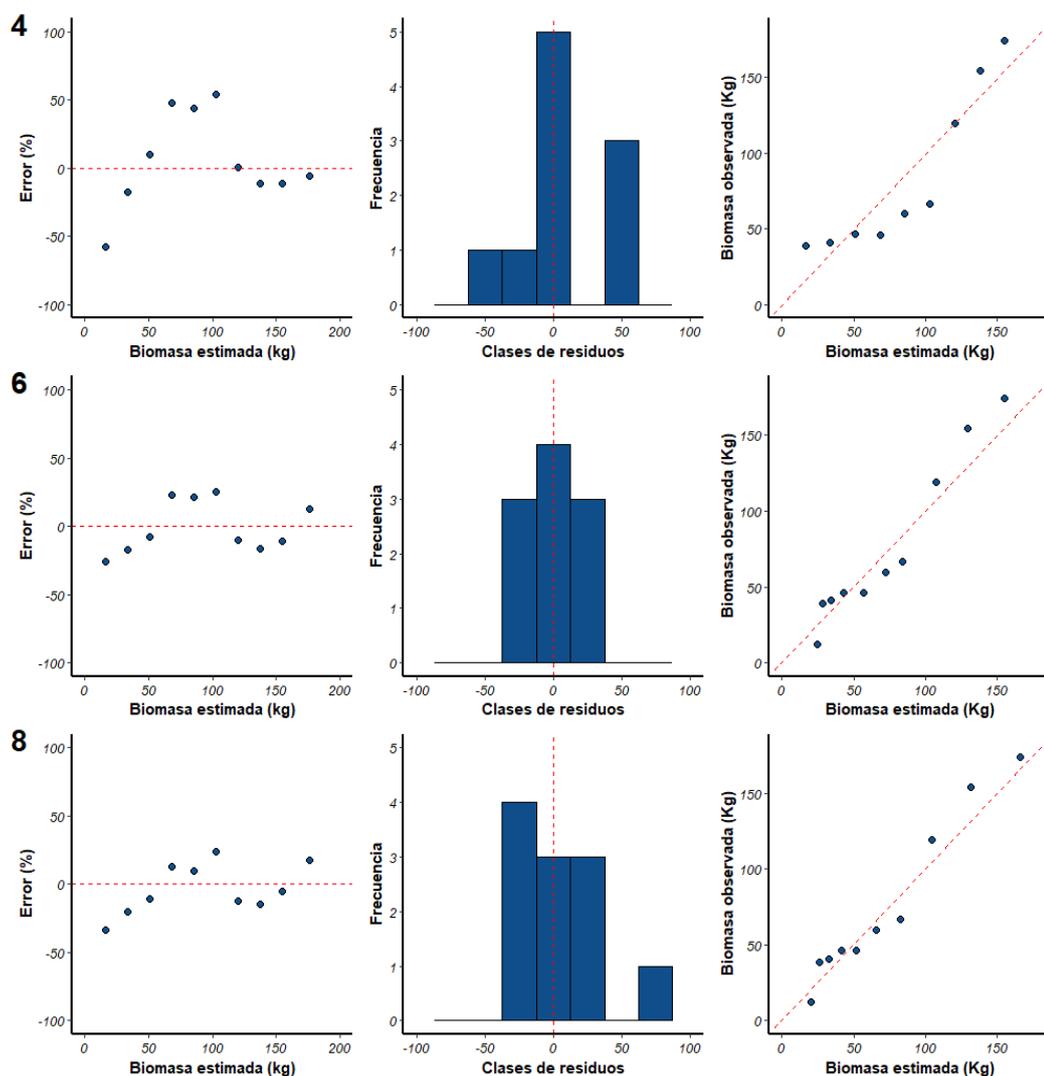


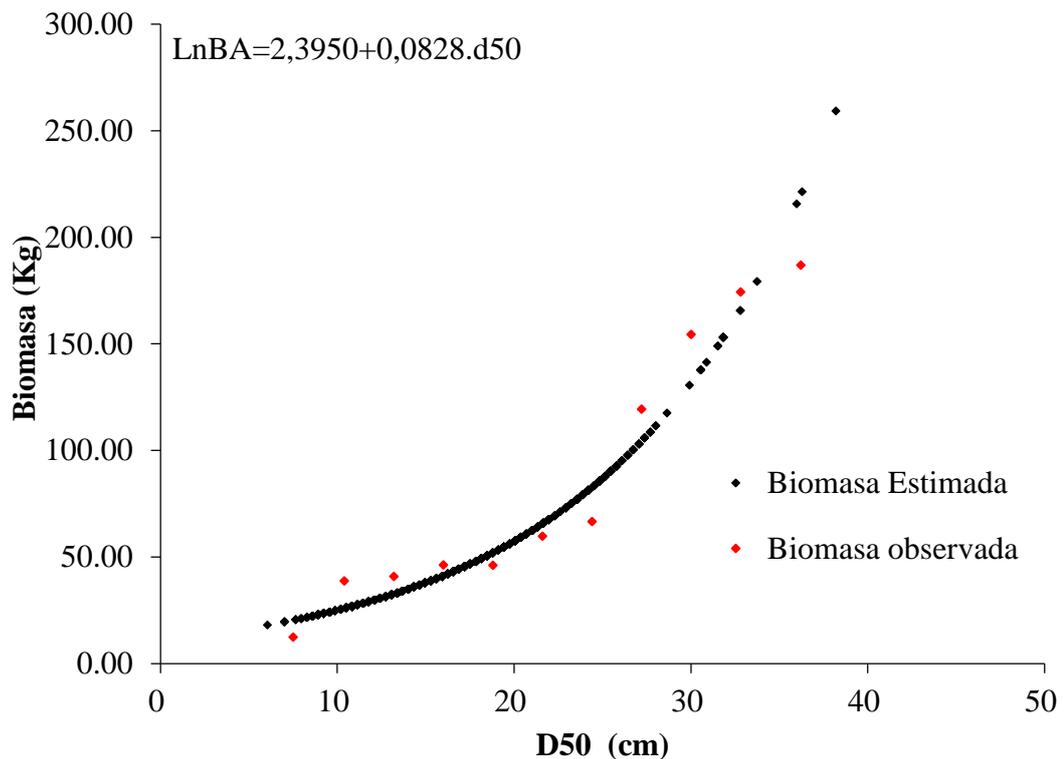
Tabla 5 Análisis de normalidad del modelo alométrico 6 para estimar biomasa de los valores observados

Biomasa	
Test	P-valor
Kolmogórov-Smirnov	0,9721
Lilliefors	0,8314
Shapiro-Wilk	0,9129

En la Figura 7 se muestra que el modelo 6 presentó mejor distribución de sus residuos con errores menores al 50 % (Sobre y subestimación), así mismo

presentó una campana mejor conformada en el histograma de residuos. Concordando con la matriz de correlación y reflejándose con altos valores de R^2 y r ajustado y bajos valores RECM, S_{xy} y AIC obtenidos en los indicadores estadísticos. Además, mediante los test de Kolmogorov, Lilliefors y Shapiro-Wilk los residuos del modelo 6 presentaron normalidad, pues los p valores fueron superiores a 0,05 (Tabla 7).

Figura 8 Dispersión de los valores de biomasa estimada en función al D50 cm



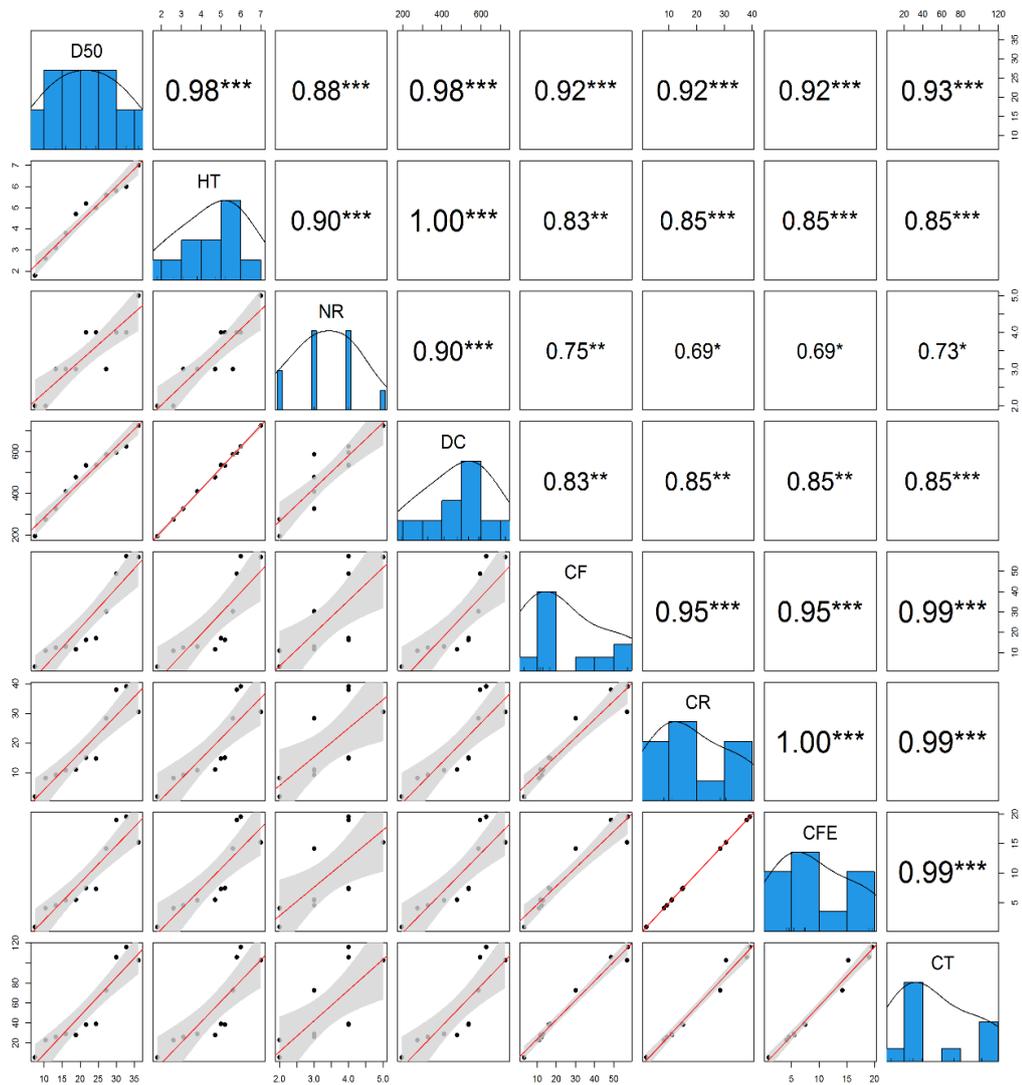
En la Figura 8 se muestra la distribución de los valores de biomasa en función al D50 (cm) del relicto del bosque de *Polylepis racemosa*, la ecuación que mejor estima la biomasa aérea es el modelo 6 determinado por $\text{LnBA}=2,394988+0,082807 \cdot \text{D50}$; el que alcanza un R^2 : 0,932; R^2 ajustado 0,925; RECM: 16,826; E: 0,363; S_{xy} : 50,477 y un AIC 32,013. Los resultados tienen similitud con lo reportado por Mírez (2021), quien determinó que el mejor modelo para estimar biomasa alcanzó RECM, E, S_{xy} y AIC, 7.91, 0.2754, 209489 y 21,1927 respectivamente, por su parte Sarcca (2017) estimó la biomasa seca de *P. rugulosa*, en función a la altura total y diámetro de copa mediante la ecuación $B = 0,16496 [A + B]^{2,667785}$.

Tabla 6 *Carbono en los componentes aéreos*

Árbol	D50 cm	ht cm	N° de ramas	Ø Copa cm	Componentes (kg)			Biomasa total(kg)
					Fuste	Ramas	Follaje	
A	7,5	180	2	195	3,199	1,863	0,931	5,993
B	10,4	260	2	275	10,953	8,191	4,095	23,239
C	13,2	310	3	327	12,401	9,192	4,596	26,189
D	16	380	3	410	13,033	10,881	5,440	29,354
E	18,8	470	3	477	11,627	11,045	5,522	28,195
F	21,6	520	4	535	16,121	15,016	7,508	38,645
G	24,4	500	4	536	16,982	14,746	7,373	39,101
H	27,2	560	3	587	30,225	28,395	14,197	72,818
I	30	580	4	595	48,694	38,041	19,020	105,755
J	32,8	600	4	626	57,3155	39,147	19,573	116,036
K	36,2	700	5	724	56,897	30,534	15,267	102,698

En la Tabla 8 muestra el promedio de carbono que se distribuye en los componentes aéreos de los 11 árboles muestra, observándose que la menor cantidad de carbono se almacena en el árbol con D50 de 7,5 cm, ht 180 cm, dos ramas y un diámetro de copa de 195 cm almacena 5,993 kg, mientras que la mayor cantidad de carbono se almacena en el individuo con D50 de 36,2 cm, ht de 700 centímetros, con cinco ramas y un diámetro de copa de 724 que almacena 102,698 kg. Finalmente Chimbo (2016) menciona que la cantidad de carbono depende a la edad y el desarrollo de las variables dasométricas.

Figura 9 Análisis de correlación de las variables dasométricas para la captura de carbono

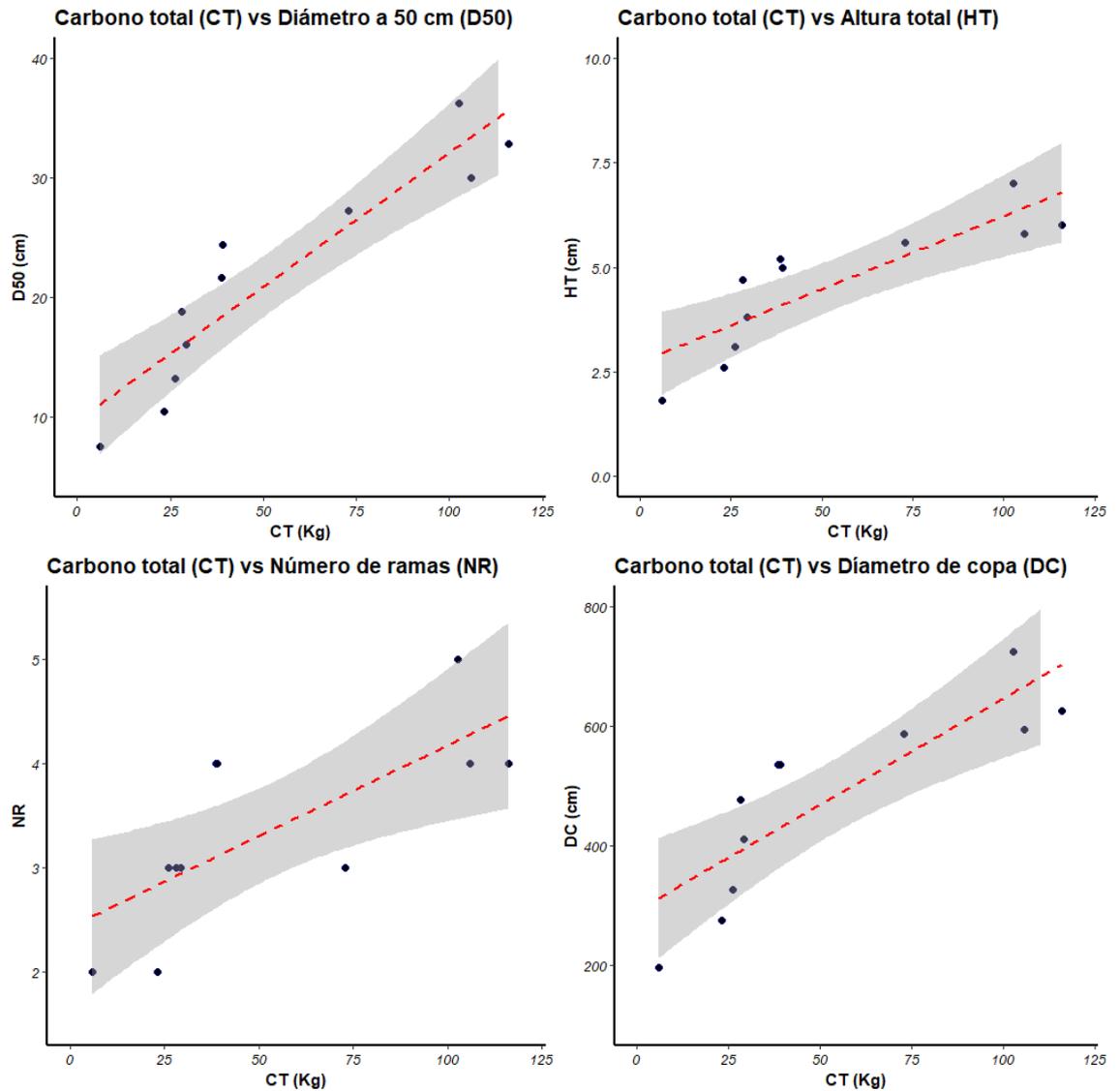


Donde CC: Captura de carbono (kg); D50: diámetro 50 centímetros (cm); ht: altura total, NR: número de ramas (kg), DC: diámetro de copa; BF: carbono del fuste (kg); BR: carbono de las ramas, BFE: carbono en el follaje (kg).

En la Figura 9 se muestra la correlación de las variables para estimar el contenido de carbono en el bosque relicto *P. racemosa*; El D50 y ht presentaron

mayor grado de asociación con el carbono (componentes y total) a comparación de NR y DC; indicando que serán las principales variables predictoras de los modelos de regresión.

Figura 10 Comportamiento lineal de la relación de la captura de carbono



Las variables dasométricas D50, ht, NR, DC, en la Figura 10 tienen una relación lineal positiva con respecto a la captura de carbono, por su parte Ramos *et al.* (2018) mencionan que la relación depende de la interdependencia de variables, en cambio Riascos (2020) considera que el DAP y la altura total con el contenido de carbono tienen una relación lineal positiva.

Tabla 7 Modelos alométricos ajustados para estimar el contenido de carbono

Modelo	Condición	R^2	r^2_{ajus}	RECM	E	Sxy	AIC
1	Rechazado	0,8897	0,8775	13,5603	0,3797	40,6808	29,9512
2	Rechazado	0,8913	0,8792	13,4635	0,0006	40,3904	29,8828
3	Rechazado	0,9357	0,9197	1,6940	-0,0003	31,0511	29,3704
4	Aceptado	0,8577	0,8419	15,4038	0,0006	46,2115	31,1692
5	Rechazado	0,8806	0,8674	14,1065	1,6988	42,3195	30,3286
6	Aceptado	0,8333	0,8147	16,6727	0,2588	50,0182	31,9255
7	Rechazado	0,8510	0,8345	15,7597	2,0942	47,2790	31,3874
8	Rechazado	0,8500	0,8333	15,8144	-0,0003	47,4433	31,4205
9	Aceptado	0,3399	0,2666	33,1731	0,0660	99,5193	38,4986
10	Rechazado	0,9116	0,8895	12,8738	1,1806	36,4125	30,8922

R^2 : coeficiente de correlación; r^2_{ajus} : coeficiente de correlación ajustado, RECM: raíz del error medio cuadrático; Sxy: error estándar de estimación; AIC: Índice de Akaike.

Los modelos fueron aceptados o rechazado de acuerdo a la significancia obtenida por los test de F y t, (tabla 12). En la Tabla 9 se muestra que, de los modelos aceptados para estimar el carbono total, se han obtenido regulares ajustes, pues los valores promedio para el R^2 y r^2_{ajus} fueron de 0,677 y 0,641. Solo dos modelos (4 y 6) presentaron mejores indicadores estadísticos con R^2 y r^2_{ajus} mínimos de 0,833 y 0,815; así como RECM, E, Sxy y AIC máximos de 0,259, 50,018 y 31,926, respectivamente. Los dos modelos estimaron correctamente la biomasa del *P. racemosa*, por lo cual fueron evaluados para ver cual cumple los supuestos del ANOVA (normalidad y homogeneidad de residuos).

Figura 11 Análisis gráfico del mejor modelo alométricas para contenido de carbono

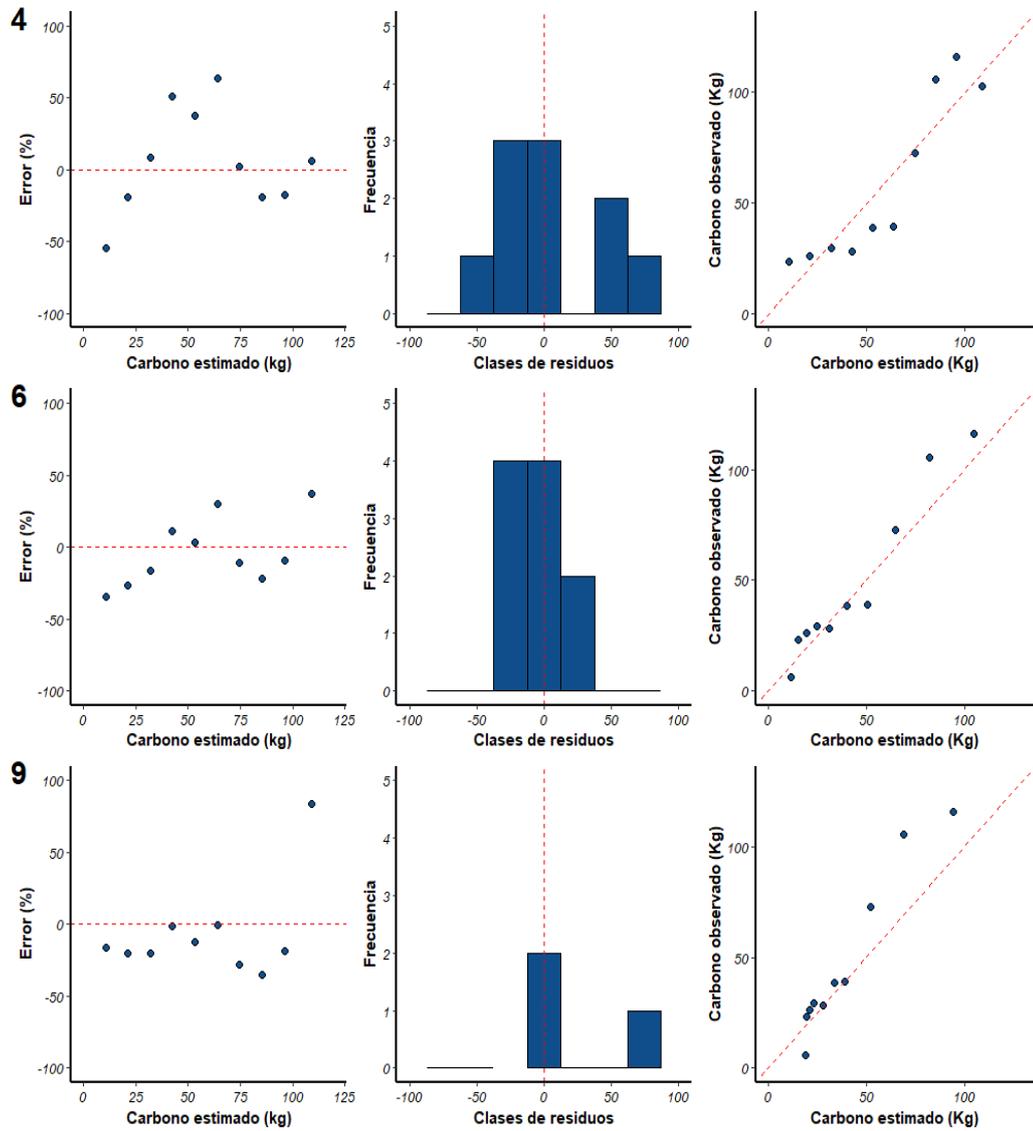
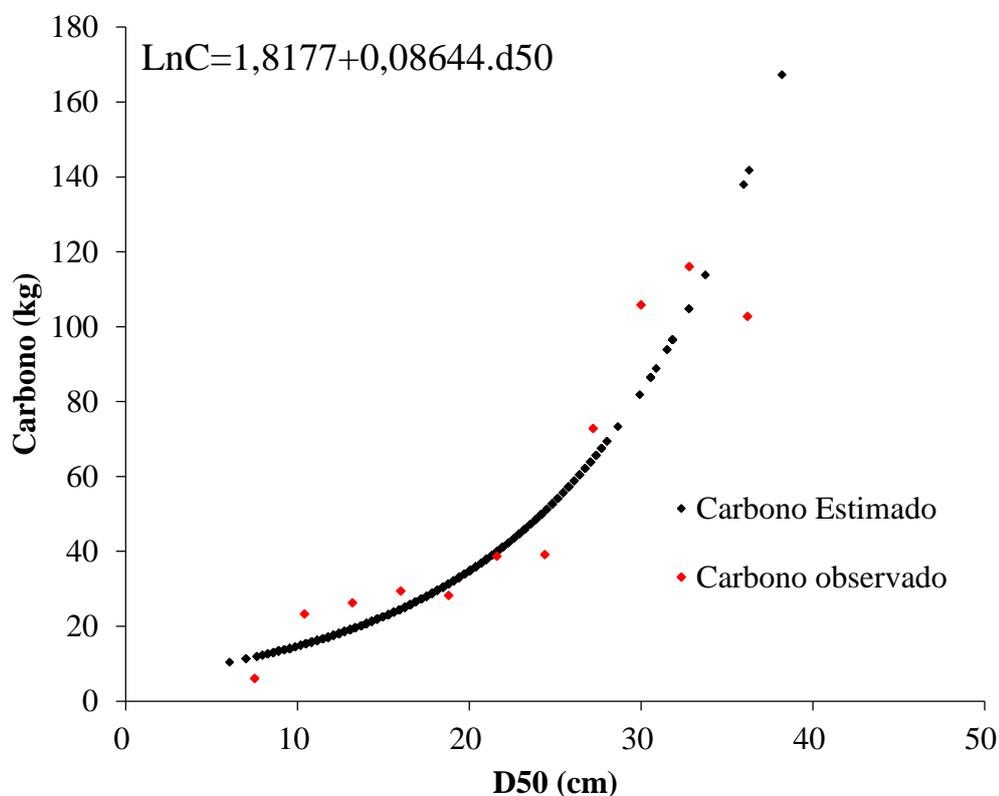


Tabla 8 *Análisis de normalidad del modelo alométrico 6 para estimar carbono estimado*

Carbono	
Test	P-valor
Kolmogórov-Smirnov	0,8621
Lilliefors	0,5129
Shapiro-Wilk	0,6635

El modelo 6 presentó mejor distribución de sus residuos con errores menores al 50 % (Sobre y subestimación) (Figura 11), así mismo presentó una campana mejor conformada en el histograma de residuos. Reflejados con altos valores de R^2 y r ajustado y bajos valores RECM, S_{xy} y AIC obtenidos en los indicadores estadísticos. Además, mediante los test de Kolmogorov, Lilliefors y Shapiro-Wilk los residuos del modelo 6 presentaron normalidad, pues los p valores fueron superiores a 0,05 (Tabla 10).

Figura 12 *Dispersión de los valores de carbono en función al D50 cm*



El modelo 6 (Figura 11) está determinado por $\text{Ln}C = 1,8177 + 0,08644 \cdot D50$; alcanza un R^2 : 0,833; R^2 ajustado 0,815; RECM 16,673; E: 0,259; S_{xy} : 50,0182 y

un AIC 1,926; siendo la ecuación que mejor estima el carbono en el bosque relicto de *P. racemosa* con mayores desempeños estadísticos. Apolinario y Pelaez (2018) ajustaron modelos alométricos para determinar carbono en *Polylepis spp*, determinando que el modelo que mejor estima el carbono está determinado por la ecuación $\ln(M) = -2,1757 + 2,025\ln(DAP)$, por su parte Curo (2019) estimó el carbono en *Polylepis* mediante la ecuación $CC = 0,1791DAP^2 + 1,0691 * DAP - 3,6161$, con R^2 de 0,8644, concordando que la variable dasométrica que estima la biomasa el carbono está en función al DAP.

Considerando el modelo $\ln C = 1,8177 + 0,08644.D50$ y la frecuencia de individuos por ha, se determinó que se tiene secuestrado 23.32 Tn/ha de Carbono y 85.59 Tn/ha de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq), Tabla 11. Resultados similares a los obtenidos por Diego Ribadeneira Falconí, Comunicación – FONAG. para la zona de los páramos del Ecuador; son escasos y aún más escasos para los bosques del género *Polylepis*.. De acuerdo a Los datos indican que el bosque de *Polylepis incana* almacena la mayor cantidad de carbono de los tres ambientes estudiados (2400.33 MgC/ha en 3.62 m de profundidad y 300.96 MgC/ha en 40 cm de profundidad). Los valores más bajos se encontraron en el bosque de *Polylepis pauta* (1767.56 MgC/ha en 3.57 m de profundidad y 248.32 MgC/ha en 40 cm de profundidad). El promedio de carbono hasta la roca en los tres escenarios fue de 2048.30 MgC/ha.. En el Perú el valor una tonelada de CO₂eq es de \$7.17 (Lorenzo Eguren, 2020); por lo cual el valor económico aproximado de una ha en el bosque de Chalamarca es de \$ 613.7 o 2,393 soles (1 \$ = 3.9 soles).

Tabla 11 Estimación de Carbono secuestrado por ha en el bosque de *Polylepis racemosa*, Chalarmarca – Chota.

N° Clase	LI	LS	X	f (1.42 ha)	f (1 ha)	Biomasa estimada/ Individuo (Kg)	Biomasa estimada (Tn/ha)	CO2eq (Tn/ha)
1	6,05	9,05	7,5	66	46	11,82	0,54	1,98
2	9,05	11,85	10,4	217	153	15,19	2,32	8,51
3	11,85	14,65	13,2	347	244	19,35	4,72	17,32
4	14,65	17,45	16,0	202	142	24,65	3,50	12,85
5	17,45	20,25	18,8	159	112	31,40	3,52	12,92
6	20,25	23,05	21,6	107	75	40,00	3,00	11,01
7	23,05	25,85	24,4	84	59	50,96	3,01	11,05
8	25,85	28,65	27,2	30	21	64,91	1,36	4,99
9	28,65	31,45	30,0	6	4	82,68	0,33	1,21
10	31,45	34,25	32,8	10	7	105,33	0,74	2,72
11	34,25	38,20	36,2	3	2	141,02	0,28	1,03
Total				1232	865	-	23,32	85,59

Li: límite inferior, Ls: límite superior; X: marca de clase, para estimar el dióxido de carbono equivalente (CO2eq) se multiplicó por el factor 3.67 (IPCC, 2014)

CONCLUSIONES

La ecuación alométrica que mejor se ajusta para estimar la biomasa aérea en *Polylepis racemosa* en el bosque relicto de Bella Andina es $\ln BA = 2,394988 + 0,082807 * d$; con un $R^2 : 0,932$; R^2 ajustado 0,925; RECM: 16,826; E: 0,363; Sxy: 50,477; AIC 32,013 y el modelo para estimar el carbono es $\ln BA = 1,8177 + 0,08644 * d$; alcanza un $R^2: 0,833$; R^2 ajustado 0,815; RECM 16,673; E: 0,259; Sxy: 50,0182 y un AIC 1,926; por cuanto se rechaza la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternante que por lo menos una ecuación alométrica ajustada es estadísticamente superior y adecuada para estimar biomasa aérea y carbono en árboles de *Polylepis racemosa* en la comunidad de Bella Andina

El bosque relicto de *Polylepis racemosa* cuenta con 1232 individuos distribuidos en 11 clases diamétricas, la mayor cantidad de individuos se encuentran en las clases 10,4; 13,2; 16,0; 18,8 y 21,6 centímetros con 217, 347, 202, 159 y 107 individuo

respectivamente y la menor cantidad se encuentra en la marca de clase 30,0; 32;8 y 36; 2 centímetros con 10, 6 y 3 individuos. Se ha registrado un D50 máximo de 38,19 cm y un D50 mínimo de 6cm.

La ecuación que mejor se ajusta para determinar la biomasa está determinado por $\text{LnBA}=2,394988+0,082807*d$; con un R^2 : 0,932; R^2 ajustado 0,925; RECM: 16,826; E: 0,363; Sxy: 50,477; AIC 32,013.

La ecuación que mejor se ajusta para determinar carbono es $\text{LnBA}=1,8177+0,08644*d$; alcanza un R^2 : 0,833; R^2 ajustado 0,815; RECM 16,673; E: 0,259; Sxy: 50,0182 y un AIC 1,926.

RECOMENDACIONES

Se sugiere evaluar la captura de carbono en *Polylepis racemosa* en bosques de la región Cajamarca, con la finalidad de dar a conocer la importancia de los bosques relictos.

A los investigadores se recomienda estudiar la biomasa de la necromasa con la finalidad de evaluar el carbono en el suelo.

Se recomienda difundir la importancia de conservación de los bosques relictos.

Se recomienda desarrollar proyectos de reforestación con especies naturales en las zonas altoandinas

CAPÍTULO V.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, M. M., Vargas, H. J., Velázquez, M. A., & Etchevers, B. JD (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*, 36(6), 725-736. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236610>
- Alvis Ccoropuna, T. (2018). *Almacenamiento de carbono en los humedales altoandinos del centro poblado Chalhuanca, Caylloma–Arequipa, 2017* [Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa] <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8214>
- Andrade Calva, F. N., & Arias Perugachi, J. P. (2016). Cálculo de la captación de carbono mediante mediciones alométricas y determinación del factor de equilibrio entre la emisión y la captación de carbono en los 11 sumideros del DM de Quito [Tesis Licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana] <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13060>
- Andrade Ortiz, A., & Oliva Suárez, F. G. (2015). *Sistema de crianza de bovinos de carne en el trópico húmedo comparando dos tipos de pastos: Bachiaria decumbens vs. Paspalum dilatatum* [Tesis posgrado, Universidad Católica de Santa de Guayaquil] <http://201.159.223.180/handle/3317/3875>
- Antepara-Basurto, J. A. (2019). *Modelo alométrico mediante técnicas de simulación para estimar biomasa aérea vegetal* [Tesis posgrado, Universidad Nacional de Rioja] <https://reunir.unir.net/handle/123456789/8248>
- Apolinario Congacha, K. P. (2018). *Avifauna asociada al bosque de Escallonia “chachacomo” en la localidad de Totorabamba del distrito de Vinchos, Huamanga, Ayacucho junio 2016 a mayo 2017* [Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga] <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2845>

- Apolinario, E. R., & Peláez, F. P. (2018). Estimación del Potencial de Captura de Carbono en dos Especies del Género *Polylepis*, Recuay-Ancash. *TAYACAJA*, 1(1). <https://doi.org/10.46908/rict.v1i1.3>
- Aristizábal, J. D. (2011). Desarrollo de modelos de biomasa aérea en sombríos de caféto (*Coffea arabica* L.) mediante datos simulados. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262011000100007
- Arreaga Torres, E. P. (2019). *Importancia agroecológica de los cultivos forestales en la Parroquia Febres Cordero, Provincia de Los Ríos* [Tesis pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo] <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/6788>
- Benavides, K. L., Castillo, I. D. R. C., & Espino, D. D. C. A. (2014). Biomasa aérea y modelos alométricos para *Acacia pennatula*, en condiciones naturales del trópico seco Nicaragüense. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, (11), 47-56. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i11.1604>
- Bravo, F., Delgado, J. A., Gallardo, J. F., Bravo-Oviedo, A., Ruiz-Peinado, R., Merino, A., ... & Canga, E. (2007). *Métodos para cuantificar la fijación de CO₂ en los sistemas forestales* [Tesis pregrado, Universidad de Oviedo] <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/54817>
- Brown, CJ y Willard, HF (1989). No inactivación de un gen humano seleccionable ligado al cromosoma X que complementa un defecto del ciclo celular sensible a la temperatura murino. *Revista estadounidense de genética humana*, 45 (4), 592. <https://www.scielosp.org/article/spm/1997.v39n5/451-462/>
- Burbano, D. V. (2017). *Técnicas efectivas de conservación ex situ del germoplasma forestal nativo representativo del Bosque de Jacarón* [Tesis pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos] <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/7075?show=full>
- Caluña Ortiz, M. V. (2017). *Inventario florístico del bosque nativo " Polylepis), en la parroquia Pilahuín, cantón Ambato, provincia de Tungurahua* [Tesis pregrado, Universidad Politécnica de Chimborazo] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6657>

- Carrasco Muñoz, P. K., & Quiñones Dávalos, L. (2017). *Propuesta de bonos de carbono para mejorar el crecimiento económico en el distrito Chirinos, provincia San Ignacio, departamento Cajamarca 2016* [Tesis pregrado, Universidad de Lambayeque] <http://repositorio.udl.edu.pe/handle/UDL/98>
- Castro, A., & Flores, M. (2015). Caracterización de un bosque de queñual (*Polylepis* spp.) ubicado en el Distrito de Huasta, Provincia de Bolognesi (Ancash, Perú). *Ecología aplicada*, 14(1), 1-9. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162015000100001&script=sci_abstract
- Chalco, C., & Gen, F. C. (2015). *Influencia de parques urbanos en la calidad de aire de la ciudad metropolitana de Huancayo* [Tesis pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú] <http://hdl.handle.net/20.500.12894/152>
- Chamorro Meza, M. A., & Falconi Romero, S. (2019). *Potencial de secuestro de carbono por los árboles en los parques urbanos de los Distritos de El Tambo, Huancayo y Chilca* [Tesis pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú] <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5140>
- Chancayauri Vaca, C. R. (2019). *Propuesta para la gestión ambiental de los bosques de "Queñoa" polylepis en el Departamento de Moquegua* [Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa] <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9189>
- Choque Llacsá, D. R. (2019). *Biogeografía, percepción local acerca de servicios ecosistémicos de los bosques de Polylepis spp. y usos que impactan su área en el distrito de Nuñoa* [Tesis pregrado, Universidad Nacional del Altiplano] <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/10999>
- Cieza Requejo, W. (2019). *Cuantificación de captura de carbón del fuste de Cordia alliodora (Ruiz & Pavón) Oken con redes neuronales artificiales del distrito y provincia de Jaén-Cajamarca* [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca] <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3035>
- Cordella, E. C. (2017). REDD+ en Chile: Análisis de las políticas públicas de Bosques y Cambio Climático y crítica al mercado de los servicios ecosistémicos. *Anuario de Derecho Público*, (1), 83-116. <https://www.corteidh.or.cr/tablas/r37885.pdf>

- Cristeche, E., & Penna, J. A. (2008). Métodos de valoración económica de los servicios ambientales. *Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales*, 3, 1-55. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-metodos_doc_03.pdf
- Cruzado Blanco, L. A. (2010). *Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de los bosques altoandinos de la concesión para conservación alto Huayabamba-San Martín* [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva] <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/559>
- Curo Rosales, Y. A. (2019). *Estimación del stock de carbono fijado por la biomasa vegetal de los bosques relictos de polylepis en la microcuenca potaca del parque nacional Huascarán-Ancash, 2018*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo] <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4511>
- Cuyckens, G. A. E., & Renison, D. (2018). *Polylepis Montane Forest Ecology and Conservation: An Introduction to the Special Issue*. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2018000200001
- Dauber, E., Terán, J., & Guzmán, R. (2000). *Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia* (p. 32). Superintendencia Forestal. <https://estrucplan.com.ar/estimaciones-de-biomasa-y-carbono-en-bosques-naturales-de-bolivia/>
- Delgado, J. E. F. (2020). Comparación de modelos de altura de la vegetación para estimación de biomasa en un bosque de manglar en el Caribe Colombiano. *Entorno Geográfico*, (19). <https://doi.org/10.25100/eg.v0i19.9471>
- Dellafiore, C. M., Rosa, M. J., & Scilingo, V. (2015). ¿Afectan las aves la germinación del arbusto *Pyracantha atalantoides* (Rosaceae)? *Cuadernos de Investigación UNED*, 7(2), 295-299. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/cinn/v7n2/1659-4266-cinn-7-02-00295.pdf>
- Díaz Marquina, J. R., & Gálvez Correa, F. M. (2019). *Evaluación de la recarga hídrica del bosque relicto de Cachil-provincia Gran Chimú desde el 2006 al 2016* [Tesis pregrado, Universidad César Vallejo] <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/41174>

- Díaz, F. R., & WÄRNBERG, J. W. (2014). *Bioestadística*. Ediciones Paraninfo, SA.
- Díaz-Franco, R., Acosta-Mireles, M., Carrillo-Anzures, F., Buendía-Rodríguez, E., Flores-Ayala, E., & Etchevers-Barra, J. D. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y bosques*, volumen 13(1), pp. 25-34. <https://www.redalyc.org/pdf/617/61713103.pdf>
- Duarte, C., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo Buendía, M., & Valladares, F. (2006). Cambio global. *Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. CSIC. http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/01/Cambio_global.pdf
- Emanuelli, P., Milla, F., & Jiménez, A. (2017). *Bases Técnicas para la Construcción de Funciones Alométricas de volumen y biomasa en Centroamérica y República Dominicana*. https://investigacion.conaf.cl/archivos/repositorio_documento/2020/08/informe-final.pdf
- España Benavides, F. R. (2016). *Construcción de modelos alométricos para la determinación de biomasa aérea en aliso de nepal (Alnus Nepalensis D. Don) en la zona de Intag, Andes del Norte del Ecuador* [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte] <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5728>
- Estrada, M. S., Lau, N. S., Venegas, E. Z., Flores, M. M., & Montano, J. J. (2003). El secuestro de carbono en la agricultura y su importancia con el calentamiento global. The Carbon Sequestration in Agriculture and its Importance in Global Warming. *Theoria*, 12(1), 65-71. <https://www.redalyc.org/pdf/299/29901206.pdf>
- Figuerola Flores, A. C. (2018). *Factor de forma de Caryocar amygdaliforme Ruiz & Pav. ex G. Don (Almendra) en bosques de terraza de la amazonía peruana* [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Ucayali] <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3816>
- Fonseca, W., Alice, F., & Rey, J. M. (2009). Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque (Valdivia)*, 30(1), 36-47. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002009000100006>

- García, N. R. M. (2011). *Ajuste de modelos de captura de carbono para el tipo forestal roble-rauli-coigüe y su análisis bioeconómico en la reserva nacional malleco-chile* [Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes] <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=70059>
- Gómez Balanta, F. Z. (2015). *Emisión de Gases de Efecto Invernadero y contenidos de Carbono y Nitrógeno del suelo en un agroecosistema ganadero Altoandino en Tenerife, Valle del Cauca* [Tesis posgrada, Universidad Nacional de Colombia] <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/53064>
- Gómez, J. D., Etchevers-Barra, J. D., Monterrosos-Rivas, A. I., Campo-Alvez, J., & Tinoco-Rueda, J. A. (2011). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Quercus magnoliaefolia*. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(2), 261-272. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62919277009>
- Guillen Enriquez, E. R., & Salome Rojas, L. M. (2019). *Capacidad de almacenamiento de carbono en el bosque natural de *Polylepis rodolfo-vasquezii* L. Valenzuela & Villalva en la Comunidad Campesina de María Moya, Comas, Concepción* [Tesis pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú] <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5345>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad - Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación de IPCC*. Organización Meteorológica Mundial
- Huisa, S., & Ruth, Y. (2017). *Valoración económica del servicio eco sistémico de secuestro y almacenamiento de carbono en el bosque de *Polylepis* del Pichu Pichu, Arequipa-2016* [Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa] <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2787>
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2005) Carbon Dioxide Capture and Storage. B. Metz, O. Davidson, H. de Coninck, M. Loos and L. Meyer (eds.). Cambridge University Press. New York. USA. 431 p. https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_wholereport.pdf

- Kessler, M. (2006). Bosques de *Polylepis*. *Botánica económica de los Andes Centrales*, 11.
<https://beisa.au.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2007.pdf>
- Laguna, C. (2014). Correlación y regresión lineal. *Instituto Aragonés de Ciencias de la Salud*, 1-18.
- Lanchimba Lanchimba, W. I. (2017). *La conservación del pantza polylepis racemosa Ruíz y Pav. y las prácticas de educación ambiental en la comunidad-carrera, parroquia-Cangahua, cantón-Cayambe, provincia-Pichincha, período 2016* [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Quito]
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/11478>
- Lopez Herrera, M. C. (2019). *Composición florística y diversidad de los bosques de la microcuenca de Cotabana distrito de Huanoquite provincia de Paruro región Cusco* [Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]
<http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4806>
- Lorenzo Eguren (2020). *El precio del carbono como instrumento de descarbonización en el contexto nacional. Perú* [Precio al carbono: situación y perspectiva]
- Luza Eyzaguirre, I. A. (2015). *Stock de carbono almacenado en la biomasa aérea, sotobosque y suelo en bosques andinos, Huancayo, Perú, 2013* [Tesis pregrado, Universidad Continental]
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7530>
- Magin, R. L., Pollito, P. Z., & de la Cruz Silva, H. (1990). Información preliminar de la ecología, dendrología y distribución geográfica de las especies del género *Polylepis* en el Perú. *Espacio y desarrollo*, (2), 47-62.
<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/7882>
- Marlay, S. (2015). Evaluación del potencial de los proyectos agroforestales para lograr beneficios ambientales y socioeconómicos en zonas rurales de Haití. *Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales, Serie técnica informe técnico*, (402), 203-229. <http://cipav.org.co/wp-content/uploads/2020/08/sistemas-agroforestales-funciones-productivas-socioeconomicas-y-ambientales.pdf>
- Marroquín Morales, P. (2019). *Ajuste de ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea en una plantación de teca (*Tectona grandis* Lf) en Yucatán, México* [Tesis

doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León]
<http://eprints.uanl.mx/18026/1/1080288675.pdf>

Mendoza Chichipe, M. E. (2018). *Estimación de carbono en plantaciones de pinus patula mediante el análisis espectral de una imagen satelital sentinel-2, Distrito de Luya Viejo, Amazonas, 2018* [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Colombia]

Mirez Y. (2021). *Estimación de biomasa y contenido de carbono en Pinus patula de diferentes edades en la jalca del distrito de Chalamarca, Chota – Cajamarca.*[Tesis pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]

Mollocondo Turpo, M. N., & Aguilar Atamari, L. E. (2019). *Estimación de la captura de CO2 en plantaciones forestales de Polylophis sp, Cupressus spp y Eucaliptus globulus, para mitigar el cambio climático en el Centro de Producción San Juan de Potojani–Puno, 2018* [Tesis pregrado, Universidad Peruana Unión]
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1742>

Návar-Cháidez, J., Rodríguez-Flores, F. D. J., & Domínguez-Calleros, P. A. (2013). Ecuaciones alométricas para árboles tropicales: aplicación al inventario forestal de Sinaloa, México. *Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 347-356.
<https://www.redalyc.org/pdf/437/43729228011.pdf>

Navarro, G., Arrázola, S., Balderrama, J. A., Ferreira, W., De la Barra, N., Antezana, C., ... & Mercado, M. (2013). Diagnóstico del estado de conservación y caracterización de los bosques de Polylophis en Bolivia y su avifauna. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental*, (28).
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1667-782X2018000200002&script=sci_arttext&tIng=es

Orrego, S. A., & del Valle, J. I. (2001, October). Existencias y tasas de incremento neto de la biomasa y del carbono en bosques primarios y secundarios de Colombia. In *Valdivia: Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales* [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Colombia] <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11262>

Paredes-García, D. M., Ramírez-Bautista, A., & Martínez-Morales, M. A. (2011). Distribución y representatividad de las especies del género Crotalus en las áreas naturales protegidas de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(2), 689-

700. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532011000200026

Pérez, E., Medrano, L. A., & Rosas, J. S. (2013). El Path Analysis: conceptos básicos y ejemplos de aplicación. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento*, 5(1), 52-66. <https://doi.org/10.32348/1852.4206.v5.n1.5160>

Pineda, M., Ortiz-Ceballos, G., & Sánchez-Velásquez, L. R. (2005). Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. *Madera y Bosques*, 11(2), 3-14. <https://www.redalyc.org/pdf/617/61711201.pdf>

Pompa, M., Corral Rivas, J. J., Díaz Vásquez, M. A., & Martínez Salvador, M. (2009). Función de ahusamiento y volumen compatible para *Pinus arizonica* Engelm. en el suroeste de Chihuahua. *Ciencia forestal en México*, 34(105), 117-134. <https://rmae.voaxaca.tecnm.mx/wp-content/uploads/2020/11/4-RMAE-2018-04-Pino-To-edit.pdf>

Pumasupa Solórzano, M. R. (2018). *Cuantificación de la Captura de Carbono de la Especie Forestal Haplorhus Peruviana Carzo como Servicio Ambiental en el Valle de Cinto, Provincia Jorge Basadre, Región Tacna* [Tesis pregrado, Universidad Privada de Tacna] <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/558>

Quicaño Caceres, L. J. (2019). *Estimación de las reservas potenciales de carbono como servicios ecosistémicos en el bosque de *Polylepis sp* (Zona de Recuperación) de la Reserva Paisajística "Subcuenca del Cotahuasi"-2018* [Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa] <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10990>

Ramírez Ramírez, G., Dupuy Rada, J. M., Ramírez y Avilés, L., & Solorio Sánchez, F. J. (2017). Evaluación de ecuaciones alométricas de biomasa epigea en una selva mediana subcaducifolia de Yucatán. *Madera y bosques*, 23(2), 163-179. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2321452>

Rimarachín Mundaca, M. (2018). *Determinación de ecuaciones alométricas para estimar el contenido de biomasa total y la captura de dióxido de carbono en una plantación forestal de *Eucalyptus torelliana* en el sector Indoche, Distrito y*

Provincia de Moyobamba, Región San Martín [Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Martín] <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2857>

Riofrío, J., & Grijalva, J. B. (2013). Modelos para estimar la biomasa de especies forestales en sistemas agroforestales de la Ecorregión andina del Ecuador. In *Congresos Forestales. Memorias VI congreso Forestal Español* (pp. 2-13). <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/330/387>

Rivera Paucar, M. N. (2018). *Determinación de ecuaciones para estimar biomasa en la parte leñosa aérea de Polylepis flavipila" Quinual" en el bosque Japoní-Huarochirí, Lima* [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina] <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3182/rivera-paucar-miriam-natali.pdf?sequence=1>

Rivera Paucar, M. N. (2018). *Determinación de ecuaciones para estimar biomasa en la parte leñosa aérea de Polylepis flavipila" Quinual" en el bosque Japoní-Huarochirí, Lima* [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina] <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3182/rivera-paucar-miriam-natali.pdf?sequence=1>

Rodríguez, E. M. (2005). Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anuario jurídico y económico escurialense*, (38), 315-331. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1143023>

Rojas, E., & Lucerito, M. (2018). *Evaluación de carbono total en bosque de Tara (Caesalpinia spinosa Molina Kuntze): Centro Poblado Señor de los Milagros, distrito Magdalena, provincia Chachapoyas–Amazonas, 2017*

Rudas, G., Marcelo, D., Armenteras, D., Rodríguez, N., Morales, M., Delgado, L. C., & Sarmiento, A. (2007). Biodiversidad y actividad humana: relaciones en ecosistemas de bosque subandino en Colombia. *Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5bfc0510ad732.pdf>

Ruíz Céspedes, L. (2012). Modelos alométricos para la estimación de biomasa en *Alnus acuminata* (Kunth) en Costa Rica. <https://doi.org/10.15359/rca.46-2.4>

Salas Eljatib, C (2002). Ajuste y validación de ecuaciones de volumen para un relicto del bosque de Roble-Laurel-Lingue. *Bosque (Valdivia)*, 23(2), 81-92. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002002000200009>

- Sarcca Huisa, Y. R. (2017). *Valoración económica del servicio eco sistémico de secuestro y almacenamiento de carbono en el bosque de Polylepis del Pichu Pichu, Arequipa-2016* [Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa] <http://hdl.handle.net/20.500.12390/1918>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2020). El SENAMHI brinda a tomadores de decisiones, planificadores, agricultores, medios y a la población en general, una síntesis útil y oportuna de las condiciones climáticas de lluvias y temperaturas a nivel nacional. Incluimos las previsiones para los próximos tres meses.
- Soares, C. P. B., de Paula Neto, F., & de Souza, A. L. (2012) Libro Dendrometría e Inventario Forestal. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2012.1.a05>
- Solano, D., Vega, C., Eras, V. H., & Cueva, K. (2014). Generación de modelos alométricos para determinar biomasa aérea a nivel de especies, mediante el método destructivo de baja intensidad para el estrato de bosque seco pluviestacional del Ecuador. *Cedamaz*, 4(1). <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/227>
- Soriano-Luna, M. D. L. Á., Ángeles-Pérez, G., Martínez-Trinidad, T., Plascencia-Escalante, F. O., & Razo-Zárate, R. (2015). Estimación de biomasa aérea por componente estructural en Zacualtipán, Hidalgo, México. *Agrociencia*, 49(4), 423-438. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30239403006.pdf>
- Taipe Rodriguez, A. J. (2019). *Secuestro de carbono de la biomasa aérea, suelo y necromasa en el paraje Ccallanapucro, Comunidad Campesina de Sacsamarca-Huancavelica* [Tesis pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú] <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5541>
- Tello Sanchez, G. S., & Vargas Urbano, M. (2019). *Determinación de captura de carbono aplicando ecuaciones alométricas en especies forestales de Schinus latifolius, Eucalyptus globulos, Vachellia macracantha y Pouteria lúcuma en la Universidad Peruana Unión, Lima-Perú* [Tesis pregrado, Universidad Peruana Unión] <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1774>
- Trinidad, H., & Cano, A. (2016). Composición florística de los bosques de Polylepis Yauyino y Chaqsii-Chaqsii, Reserva Paisajística Nor Yauyos-Cochas,

Lima. *Revista peruana de biología*, 23(3), 271-286.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v23n3/a06v23n3.pdf>

Vargas, D. Y. (2019). *Evaluación de esquemas de pagos por servicios ambientales asociados a áreas estratégicas del río Magdalena, mercantilismo de emociones* [Tesis pregrado, Universidad Distrital José Caldas]
<https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13167>

Vendramini Marini, G. A. (2019). *Caracteres morfológicos y dinámica microbiana en la propagación vegetativa orgánica de orégano cv. Don Bastías* [Tesis pregrado, Universidad Nacional del Sur]
<http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/4689>

F. E., Baselly Villanueva, J. R., & Villena Velázquez, J. J. (2014). *Estimación de volúmenes maderables en plantaciones de Pinus patula Schltdl. & Cham. en la Cooperativa Atahualpa Jerusalén Granja Porcón en la región Cajamarca*.
<http://pgc-snia.inia.gob.pe:8080/jspui/handle/inia/912>

Yepes, A., Zapata, M., Bolívar, J., Monsalve, A., Espinosa, S. M., Sierra-Correa, P. C., & Sierra, A. (2016). Ecuaciones alométricas de biomasa aérea para la estimación de los contenidos de carbono en manglares del Caribe Colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 64(2), 913-92.
<https://www.redalyc.org/pdf/449/44945722036.pdf>

ANEXOS

Figura 13 Identificación botánica de *polylepis racemosa*

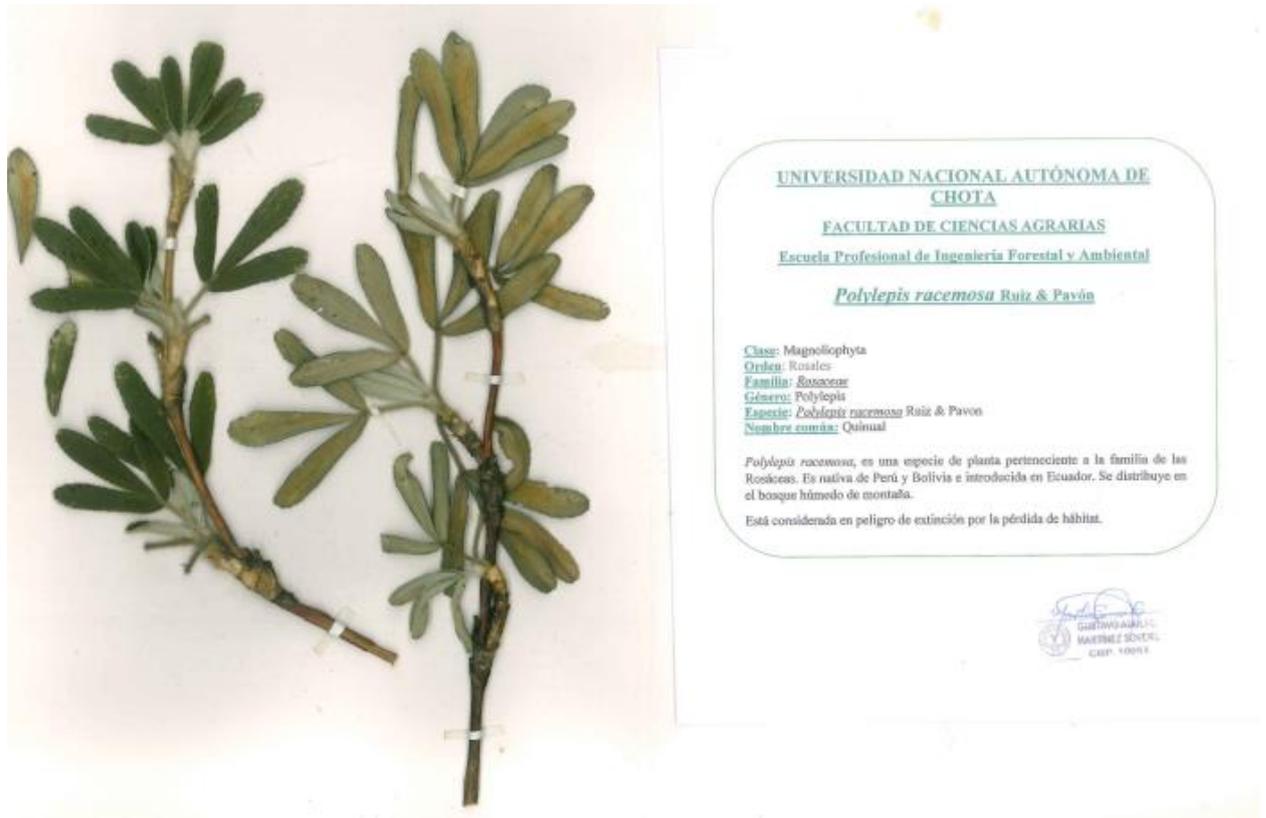


Figura 14 Medición del D50 centímetros



Figura 15 *Medición de la ht con hipsómetro*



Figura 16 *Peso del componente fuste*



Figura 17 Codificación de las muestras de los componentes fuste y ramas



Figura 18 Transporte de muestra de *Polylepis racemosa*



Figura 19 *Pesado de muestras en balanza con plato superior*



Tabla 12 *Registro de biomasa en el laboratorio*

Formato 1

N° árbol	DAP	HT	ramas	copa	COMPONENTE	Código	peso_campo	1	2	3	4
1	7.5	180	2	195	FUSTE	MBFA1	0.210	0.20452	0.16058	0.15143	0.14975
						MBFA2	0.130	0.12789	0.08382	0.07873	0.07786
					RAMAS	MBRA1	0.050	0.04082	0.02990	0.02826	0.02793
						MBRA2	0.050	0.04783	0.03362	0.03226	0.03162
FOLLAJE	MBFA1	0.200	0.07583	0.07333	0.07267	0.07267					
2	10.4	260	2	275	FUSTE	MBFB1	0.535	0.51941	0.32265	0.20720	0.20114
						MBFB2	0.270	0.25860	0.20021	0.12469	0.10636
					RAMAS	MBRB1	0.125	0.11498	0.08615	0.05249	0.04918
						MBRB2	0.085	0.07713	0.03744	0.03161	0.03096
FOLLAJE		0.200	0.07990	0.07911	0.0785	0.0783					

Formato 2

N° de árbol	C50(cm)	D50(cm)	ht(cm)	N° RAMAS	Ø de copa (cm)

10	$\text{Ln}(\text{BA})=\text{B0}+(\text{B1}.\text{Ln}(\text{d}))+(\text{B2}.\text{Ln}(\text{ht}))$	***	-1.3490ns	2.683*	-1.082ns		Rechazado
----	---	-----	-----------	--------	----------	--	-----------

Tabla 14 Significancia de los modelos usados para estimar carbono de *P. racemosa*

N°	Modelo	F	β_0	β_1	β_2	β_3	Condición
1	$\text{CT}=\text{B0}.\text{d}^{\wedge}\text{B1}$	-	0.1860ns	1.8006***			Rechazado
2	$\text{CT}=\text{B0}+\text{B1}.\text{d}^{\wedge}2$	***	5.1768ns	0.0880***			Rechazado
3	$\text{CT}=\text{B0}+(\text{B1}.\text{d})+(\text{B2}.\text{d}^{\wedge}2)+(\text{B3}.\text{d}^{\wedge}2.\text{ht})$	***	42.3373ns	-6.7831ns	0.4998ns	-0.0377ns	Rechazado
4	$\text{CT}=\text{B0}+\text{B1}.\text{d}$	***	-29.2091*	3.8191***			Aceptado
5	$\text{Ln}(\text{CT})=\text{B0}+\text{B1}.\text{Ln}(\text{d})$	***	-1.2130ns	1.6492***			Rechazado
6	$\text{Ln}(\text{CT})=\text{B0}+\text{B1}.\text{d}$	***	1.8177***	0.0864***			Aceptado
7	$\text{Log}(\text{CT})=\text{B0}+\text{B1}.\text{Log}(\text{d}^{\wedge}2.\text{ht})$	***	-0.2712ns	0.5827***			Rechazado
8	$\text{CT}=\text{B0}+\text{B1}.\text{(d}^{\wedge}2.\text{ht)}$	***	15.4876ns	0.0123***			Rechazado
9	$\text{Ln}(\text{CT})=\text{B0}+\text{B1}.\text{(d}^{\wedge}2.\text{ht)}$	***	2.9020***	0.0003***			Aceptado
10	$\text{Ln}(\text{CT})=\text{B0}+(\text{B1}.\text{Ln}(\text{d}))+(\text{B2}.\text{Ln}(\text{ht}))$	***	-1.4000ns	2.0380ns	-	0.6280ns	Rechazado