UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL Y AMBIENTAL

Estimación de biomasa y contenido de carbono en *Pinus patula* de diferentes edades en la jalca del distrito de Chalamarca, Chota –Cajamarca.

TESIS

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

Yolmer Mírez Rubio

ASESOR

Ing. Milagros Alva Mendoza

CO-ASESOR

Ing. Hipólito Murga Orillo

CHOTA- PERÚ

ENERO, 2021

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA Nº 001-2020/EPIFA -

FCA/UNACH/DGEG(P)

Siendo las 14 horas con 30 minutos, del día 11 de diciembre del 2020 en video conferencia del aplicativo Meet Google, los miembros del Jurado de Tesis titulada: "Estimación de biomasa y contenido de carbono en *Pinus patula* de diferentes edades en la jalca del Distrito de Chalamarca, Chota - Cajamarca", integrado por:

1. M.Sc. Duberlí Geomar Elera Gonzáles, Presidente
2. M.Sc. Alfonso Sánchez Rojas, Secretario
3. M.Sc. Jim Jairo Villena Velásquez, Vocal

Sustentada por el Bach. Yolmer Mirez Rubio, con la finalidad de obtener el TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL 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: 17 (DIECISIETE), se eleva la presente Acta al Coordinador de la Facultad de Ciencias Agrarias, a fin de que se le declare EXPEDITO para conferirle el TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL AMBIENTAL.

Firmado en: Chota, 11 de diciembre del 2020.

……
M.Sc. Duberli Geomar Elera Gonzáles
Presidente

……
M.Sc. Alfonso Sánchez Rojas
Secretario

……
M.Sc. Jim Jairo Villena Velásquez,
Vocal

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Constancia de Originalidad

El que suscribe, Jefe de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis Titulado **"Estimación de biomasa y contenido de carbono en *Pinus patula* de diferentes edades en la jalca del distrito de Chalamarca, Chota - Cajamarca"**, desarrollado por **Yolmer Mírez Rubio**; presenta una SIMILITUD MENOR al 20% por lo que cumple con los criterios de evaluación de originalidad establecidos en la Directiva N° 004-2020-UNACH aprobada mediante RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 450-2020-UNACH.

Chota, 12 de febrero de 2021.

Atentamente;

M.Sc. Duberli Geomar Elera Gonzáles
Jefe de la Unidad de Investigación
Facultad de Ciencias Agrarias

CO-0007-FCA

Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios, por darme la fortaleza para lograr esta meta, por estar en cada paso de mi vida, por haberme guiado en el sendero de aquellas personas que han estado como guía y compañía durante todo este tiempo de investigación.

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 Ing. Hipólito Murga Orrillo y a la Ing. Milagros Alva Mendoza y a la colaboración al Ing. Baselly, 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.

Las ideas propias, siempre enmarcadas en su orientación, han sido la clave del buen trabajo que hemos realizado juntos.

A mi amigo Joselito Moises Idrogo Bustamante y compañeros que me brindaron su apoyo y su amistad incondicional y mi especial cariño y consideración a Perlita Vásquez Silva.

Dedicatoria

A mi mamá Zulema Rubio Carranza, por darme la vida, siempre me has brindado tu apoyo incondicional, paciencia, tiempo, tu infinito amor. Gracias por demostrarme que la fortaleza y ser parte fundamental en mi vida, eso es lo que más admiro de ti, tu fuerza, tu valentía, tu ímpetu de seguir a pesar de los obstáculos que muestra la vida.

A mi padre Dario Mírez Bustamante, 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.

A mis hermanos, Lucy, Yonni, Nelson y Flor, siempre son mi ejemplo de lucha y mi motivación de vida. agradezco a mí tío Santos Mírez Bustamante por brindarme su apoyo económico y su amistad incondicional del cual estoy infinitamente agradecido.

Índice de contenidos

Acta de sustentación de tesis 2
Agradecimientos 4
Dedicatoria 5
Índice de contenidos 6
Índice de tablas 8
Índice de figuras 9
Resumen 10
Abstract 11
CAPÍTULO I. 12
INTRODUCCIÓN 12
CAPÍTULO II. 14
MARCO TEÓRICO 14
3.1 . Antecedentes 14
3.1 Bases teóricas 18
2..1 Biomasa aérea. 18
2..2 Concentración de carbono en la biomasa seca. 18
2..3 Las Plantaciones forestales como sumideros de CO_2 18
2..4 Biomasa aérea y captura de carbono 19
2..5 Diámetro Altura del Pecho (DAP) 19
3.1 Marco conceptual 19
2..1 Biomasa 19
2..2 Plantaciones forestales y carbono 19
2..3 Carbono 20
2..4 Captura de carbono 20
2..5 Ciclo biológico del carbono 20
2..6 Dióxido de carbono (CO_2) 20
2..7 El carbono en el suelo 20
2..8 Jalca 21
2..9 Importancia del *P. patula* 21
2..10 Pinus patula 21
CAPÍTULO III. 22
MARCO METODOLÓGICO 22

3.1 Ubicación 22
3.2 Población y muestra 25
3.2.1 Población 25
3.2.2 Muestra 25
3.3 Equipos, materiales e insumos 25
3.4 Metodología de la investigación 26
3.4.1 Tipo de investigación 26
3.4.2 Diseño de investigación 26
3.4.3 Flujograma del proyecto de investigación 26
3.4.4 Trabajo en campo 28
CAPÍTULO IV. 36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 36
CAPÍTULO V. 55
CONCLUSIONES 55
RECOMENDACIONES 56
CAPÍTULO VI. 57
REFERENCIAS BIBILOGRAFÍCAS 57
ANEXOS 67

Índice de tablas

Tabla 1 Ubicación de las parcelas de investigación 22
Tabla 2. Extensión de las plantaciones forestales estudiadas. 25
Tabla 3. Niveles de significancia de la prueba de normalidad. 32
Tabla 4. Criterios de evaluación del coeficiente de determinación. 33
Tabla 5. Criterios de evaluación del coeficiente de variación (CV). 33
Tabla 6.Modelos alométricos propuestos para ser ajustados 35
Tabla 7 Ajuste de variabilidad del DAP y ht. 36
Tabla 8 Análisis normalidad de la biomasa total con el fuste, ramas, follaje 37
Tabla 9 Análisis homogeneidad de varianzas de biomasas del fuste, ramas, follaje. 37
Tabla 10 Correlación de Pearson de los componentes de biomasa del fuste ramas y follaje 38
Tabla 11 Distribución de frecuencia del DAP por clase diamétrica. 38
Tabla 12 Distribución de biomasa aérea en P. patula de 5, 10 y 15 años. 40
Tabla 13 Ecuaciones probadas y ajustadas para estimar la biomasa aérea. 42
Tabla 14 Modelos alométricos con mejores indicadores estadísticos para estimar la biomasa 43
Tabla 15 Distribución del CC en los componentes fuste ramas y follaje. 48
Tabla 16 Ecuaciones probadas y ajustadas para estimar el CC aéreo. 50
Tabla 17 Modelos alométricos con mejores indicadores estadísticos para estimar el CC. 51
Tabla 18. Formato de campo para inventario forestal. 72
Tabla 19. Formato de laboratorio para registro de datos de biomasa**.** 73
Tabla 20 Ajuste de modelos alométricos. 74
Tabla 21 Ajuste de indicadores estadísticos para estimación de biomasa. 75
Tabla 22 Ajuste de los valores de parámetros de la CC. 76

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación del área de investigación 24
Figura 2. Extracción y codificación de muestras del fuste de *P. patula* 29
Figura 3. Extracción y codificación de muestras del ramas y follaje de *P. patula* 30
Figura 4. Distribución de clase diamétricas de las tres plantaciones de *P. patula* 39
Figura 5. Biomasa promedio en los componentes fuste ramas y follaje. 41
Figura 6 análisis grafico del mejor modelo alométrico para estimar biomasa aérea en *P. patula*. 44
Figura 7. Dispersión de los valores de biomasa aérea en función del DAP 45
Figura 8. Biomasa total promedio existente en las tres plantaciones de *P. patula* 46
Figura 9. Carbono promedio en los componentes fuste ramas y follaje 49
Figura 10. Análisis grafico del mejor modelo alométrico para estimar el CC en *P. patula*. 52
Figura 11. Dispersión de los valores de carbono aéreo en función del DAP 53
Figura 12. CC total promedio existente en las tres plantaciones de *P. patula*. 54
Figura 13. Toma de datos de las parcelas de 100m^2 67
Figura 14. Mediciones de DAP con forcípula 68
Figura 15. Tala de árboles 68
Figura 16. Separación de componentes del árbol. 69
Figura 17. Cubicación del fuste 69
Figura 18. Separación de componentes de los árboles de *P. patula* 70
Figura 19. Codificación y pesaje de muestras 71
Figura 20. Secado de muestras en estufa de la UNACH 71

Resumen

El incremento de emisiones de CO_2 es un problema ambiental mundial; ante ello, se promueven alternativas como las plantaciones forestales con coníferas con el fin de fijar y retener carbono. La presente investigación tiene como objetivo seleccionar los modelos alométricos que mejor estimen la biomasa aérea y carbono en plantaciones de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham de diferentes edades en la jalca del distrito de Chalamarca, provincia de Chota – Cajamarca. Se realizó un inventario forestal en 15 parcelas de 100 m^2 de *P. patula* registrando las variables dasométricas DAP y ht, se calculó la biomasa aérea del fuste, ramas y follaje a través del método destructivo en nueve árboles, las muestras fueron secadas en estufa a 105°C por cinco días para determinar la biomasa seca. Se calculó los estimadores estadísticos R^2, r^2 ajustado, RECM, , Sxy, E y el AIC con el fin de elegir el modelo alométrico que mejor se ajusta, encontrando que para biomasa el modelo adecuado es $Log\ (BA) = -1.26088 + 0.86431 * Log\ (d2 + ht) + €$, y para almacenamiento de CO_2 es el modelo $Log\ (CC) = -1.56191 + 0.86431\ (d2 * ht) + €$, concluyendo que los mejores modelos alométricos son aquellos que utilizan el DAP y la ht como variables. Se estimó que las plantaciones de 15, 10 y 5 años instaladas bajo estas condiciones edafoclimáticas almacenan 26.422 t CO_2/ha, 16.944 t CO_2/ha y 8.267 t CO_2/ha, respectivamente, CO_2 almacenado principalmente en el fuste del árbol.

Palabras claves: biomasa, captura de carbono, modelo alométrico, plantación forestal, jalca.

Abstract

The increase in CO_2 emissions is a global environmental problem; Given this, alternatives such as forest plantations with conifers are promoted in order to fix and retain carbon. The present research aims to select the allometric models that best estimate the aboveground biomass and carbon in Pinus patula Schiede ex Schltdl plantations. & Cham of different ages in the jalca of the district of Chalamarca, province of Chota - Cajamarca. A forest inventory was carried out in 15 plots of 100 m^2 of P. patula, recording the dasometric variables DAP and ht, the aerial biomass of the stem, branches and foliage was calculated through the destructive method in nine trees, the samples were dried in an oven at 105 ° C for five days to determine the dry biomass. The statistical estimators R2, adjusted r^2, RECM,, Sxy, E and the AIC were calculated in order to choose the allometric model that best fits, finding that for biomass the appropriate model is Log (BA) = - 1.26088 + 0.86431 * Log (d^2 + ht) + €, and for CO_2 storage it is the model Log (CC) = -1.56191 + 0.86431 (d^2 * ht) + €, concluding that the best allometric models are those that use the DAP and the ht as variables. It was estimated that the 15, 10 and 5-year plantations installed under these edaphoclimatic conditions store 26,422 t CO_2 / ha, 16,944 t CO_2 / ha and 8,267 t CO_2 / ha, respectively, CO_2 stored mainly in the tree stem.

Keywords: biomass, carbon sequestration, allometric model, forest plantation, jalca.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

El CO_2 es el principal gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global (Planelles, 2017). En los últimos 200 años el CO_2 en la atmósfera se ha incrementado de 280 a 375 ppm, registrándose un crecimiento anual de 1.5 ppm (Loyola, 2019). Bermúdez (2003) establece que el 70% de las emisiones de CO_2 está ligado a factores como la deforestación y cambio de uso del suelo y el 30% a la quema de combustibles fósiles. Alfaro (2017) indica que la deforestación en nuestro país varía entre ocho y 44%, y es causada principalmente por la extracción maderable, incendios y agricultura migratoria.

Mollocondo y Aguilar (2019) indican que ante el constante incremento de CO_2 se están implementando diferentes estrategias que permiten capturar cantidades significativas de CO_2, entre ellas resaltan la forestación o reforestación con coníferas como *P. patula* en zonas altoandinas. Establecer planes de reforestación o forestación en diversas partes del Perú permitirá acrecentar la captura de CO_2 (Lapeyre *et al*., 2004), especialmente cuando las plantaciones se realizan con especies de rápido crecimiento y alta capacidad de absorción de CO_2 en su biomasa y necromasa (Pérez y Ruíz, 2003 y Pichardo *et al*., 2008). Carranza (2018) recomienda manejar las plantaciones forestales de *P. patula* pues permiten reducir las concentraciones de CO_2 porque son de rápido crecimiento y el proceso fotosintético es mayor. Actualmente a nivel mundial se ha logrado capturar 344 000 millones t/CO_2 alcanzando un incremento anual de 4% a comparación del año 2013 (Torres, 2020).

Las plantaciones forestales de *P. patula* juegan un rol importante como sumidero de carbono (Aldana, 2017), siendo indispensable la estimación de su biomasa y potencial de captura de carbono a través del método destructivo para establecer ecuaciones alométricas (Marroquín, 2019). Se utiliza ecuaciones matemáticas o modelos alométricos para estimar la biomasa aérea y contenido de carbono en plantaciones forestales (Sarango y Tenempaguay 2020), modelos que se fundamentan en variables dasométricas de fácil medición como el DAP y la altura total (ht) (Criollo *et al.*, 2020).

Sánchez (2016) afirma que la estimación de captura de CO_2 entre las plantaciones forestales y el medio son aspectos importantes en las discusiones sobre cambio climático; no obstante, Chacón (2020) indica que existen escasos estudios de captura de carbono en *P. patula* en zonas altoandinas.

Fonseca (2009) manifiesta que la captura de CO_2 en las plantaciones está en función a la edad y las condiciones del medio; así mismo, Gómez *et al.* (2011) manifiesta que la captura de carbono está en función a la tasa de crecimiento y al tamaño de los individuos.

Con la finalidad de proporcionar información técnica científica del potencial de captura de carbono de las plantaciones forestales en las zonas altoandinas se planteó como objetivo principal seleccionar los modelos alométricos que mejor estimen la biomasa aérea y carbono en plantaciones de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham de diferentes edades en la jalca del distrito de Chalamarca, provincia de Chota – Cajamarca, y como objetivos específicos evaluar la biomasa aérea y estimar el contenido de carbono en las plantaciones de 5, 10 y 15 años. Se planteó como hipótesis alternante que al menos existe un modelo alométrico con desempeño estadísticamente significativo para la estimación de biomasa y captura de carbono en plantaciones de *P. patula* de 5, 10 y 15 años de edad.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

3.1 . Antecedentes

Gorbitz (2011) determinó la biomasa aérea y carbono en *P. patula* mediante el modelo alométrico $Y = b * x^k$, siendo el modelo alométrico que mejor se ajusta para determinar la biomasa $B = 0.0357 * DN^{2.616}$ y para el contenido de carbono $CC = 0.021 * DN^{2.6451}$, así mismo indica que el 52.21% de CO_2 se concentra en follaje y el 49.47% en las ramas.

López *et al.* (2016) evaluaron el almacenamiento de carbono y biomasa aérea en *Pinus greggi* en México, la ecuación matemática que mejor se ajustó para estimar la cantidad de CO_2 fue $Y = 147x + 3288x^2$, determinando que la plantación *P. greggi* de seis años secuestró 65.8 t CO_2/ha distribuidos el 51% en el fuste, 25% en las ramas y 24 en el follaje.

Rodríguez *et al.* (2009) calcularon la cantidad de CO_2 del *Quercus resinosa* en Tamaulipas- México, mediante el modelo alométrico $\beta = a_0 \times D^{a1}$, estimando que *P. quercus* almacenó 110 t CO_2/ha en 219.3 t/ha de biomasa concentrados 75.3% en raíces, el 15%, en hojarasca y el 9% en su necromasa.

Ospina *et al.* (2006) ajustaron modelos alométricos para evaluar la biomasa y el contenido de CO_2 de la parte aérea de Pinus hartwegii en el parque Ixta -Popo en México, utilizaron una muestra de 29 árboles, determinando que el carbono se concentra en mayor cantidad en fuste, seguido de las ramas y follaje 64.9, 24.2 y 10.9% respectivamente.

Chimbo (2016) evaluó el almacenamiento de carbono en *Eucalyptus globulus, P. radiata* y *Hesperomeles ferruginea* en el bosque Aguarongo-México, determinando que la especie nativa *H. ferruginea* presenta mayor cantidad de carbono en su estructura vegetal con 23678.50 t CO_2/ha; el contenido de carbono (CC) de las especies introducidas *Eucalyptus* sp y *Pinus* sp fue 2167.43 y 2057.64 t CO_2/ha, respectivamente, representando un valor económico total de 227.787.17 dólares.

Connolly (2007) cuantificó el almacenamiento de CO_2 en cuatro sistemas productivos (*P. patula* , café ecoforestal, plantaciones con fines energéticos y sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural "SBMRN"), en Nicaragua, determinó que de cuatro sistemas agroforestales estudiados el *P. patula* secuestra mayor cantidad de carbono con 23.44 t CO_2/ha, frente SBMRN que secuestra 22.26 t CO_2/ha, mientras que la plantación energética secuestra 21.79 t CO_2/ha y en menor proporción el café ecoforestal con 2.38 t CO_2/ha; cabe destacar que de los cuatro sistemas estudiados el suelo alcanzó mayores valores de CO_2 desde 76.07% hasta 87.12 %.

López (2017) estudio un área 161.2 ha dividida en dos estratos en Guatemala, determinando el estrato I con 151.58 ha y el estrato II 9.62 ha, con densidades promedios de 228 y 214 árboles/ha respectivamente y 105.9 m^3 /ha y 149.3 m^3/ha de volumen total. El estrato I presentó incremento medio anual (IMA) de 1.74 cm en DAP, 1.38 m en Ht, 0.81 m^2 /ha de área basal (AB) y 7.56 m^3 /ha de volumen total (Vt), mientas que el estrato II presentó un IMA de 2.04 cm en DAP, 1.35 m en Ht, 1.07 m^2 /ha de AB y 9.95 m^3 /ha de Vt, en los dos estratos alcanzaron un el volumen total de 17,462.36 m^3.

Cargua *et al.* (2016) estudiaron la biomasa de una plantación de *P. patula en* Ecuador, llegaron a la conclusión que la plantación de *P. patula* almacena 219 t/ha de biomasa aérea y secuestra 110 t CO_2/ha que están distribuidos en el fuste, ramas y hojas con el 70.3, 22.7 y 7% respectivamente.

Sandoval (2004) cuantificó el CO_2 almacenado en una plantación de *P. patula* en el Cerro Campanario- San Martín, donde se establecieron 31 parcelas tomándose datos dasométricos como ht, DAP y hc, nueve individuos se tomaron como muestra para ensayos por el método destructivo y encontrar la biomasa aérea, obteniendo 92.13 t CO_2/ha almacenado y 337.20 t CO_2/ha equivalente mediante la ecuación $Y = 0{,}6575 * DAP^{1.9174}$ con coeficiente de terminación R^2 = 0.91.

Paucar y Cjuno (2016) estimaron el stock de CO_2 en la biomasa aérea y necromasa en un bosque de Terraza Alta en Madre de Dios, determinaron que la superioridad de la cantidad de carbono presente en un área depende de árboles con DAP ≥ 50 cm, y este a su vez está influenciado por el tipo de siembra, raleo y poda que se ha realizado en las comunidades pantanosas arbóreas (palmerales y renáceles).

Maquera (2017) determinó la cantidad de biomasa aérea y CC en *Eucaliptus globulus, Crupesus macrocarpa y Pinus radiata* en el bosque de CIP-Camacani- Puno, el *E. globulus* almacenó mayor cantidad de biomasa aérea haciendo un total de 2 411.82 t/ha, seguido del *P.radiata* con 473.22 t/ha y por último el *C.macrocarpa* con 3 754.94 t/ha, en las tres plantaciones se capturó 2 070.28 t CO_2/ha distribuidos en su fuste, ramas y follaje.

Guerrero y Tejada (2018) realizaron su estudio con la finalidad de estimar el CO_2 almacenado en plantaciones forestales de tres edades diferentes en Iquitos- Perú, el *Eucalyptus* sp alcanzó mayor CC con 1 260.55 t CO_2/ha que representa 23.64%, frente al *Pinus* sp con 489.48 t CO_2/ha representado 60.89% y el *Cupressus* en menor proporción t CO_2/ha y 15.47%, lo mismo se muestra en la biomasa aérea el *Eucalyptus* alcanzó 4 622,01 t/ha que representa 60.89%, seguido del *Pinus* sp con 1 794.74 t/ha haciendo 23.64% y finalmente el *Cupressus* con una captura de 1 174.26 t/ha alcanzando15.7%.

Sosa (2016) determinó la biomasa y secuestro de CO_2 en los bosques de terraza baja en el distrito del Alto Nanay-Madre de Dios donde se evaluaron 25 especies, obteniendo 177.82 t/ha de biomasa distribuido en un bosque de terraza baja 256.27 t/ha de biomasa secuestrando 522 t CO_2/ha y el bosque de colina baja 286,14 t/ha de biomasa secuestrando 467,90 t CO_2/ha, concluyó que la cantidad de carbono es directamente proporcional a la cantidad de biomasa.

Del Águila (2014) estimó el contenido de biomasa y secuestro de CO_2 en *C. cateniformis* de diferentes edades en Iquitos- Perú, determinó que la plantación de 43 años *C. cateniformis* presenta una biomasa arbórea 301.50 t/ha que alcanza 186.93 t CO_2/ha, mientras que la plantación de 35 años tiene una biomasa arbórea 137.80 t/ha alcanzado secuestrar 303.14 t CO_2/ha.

Merino (2015) calculó el valor de uso del establecimiento de plantaciones forestales de *Pinus sp*, con la finalidad de establecer sumideros de CO_2 en la Granja Porcón- Cajamarca, la producción forestal del *Pinus* sp y el uso directo del suelo presenta un aumento significativo en función al número de individuos y al incremento de grosor y tamaño de las variables dasométricas como el DAP Y Ht , considerando que su producción maderable de *Pinus* sp, hongos comestibles, ecoturismo y captura de CO_2 es de 2 701. 62 US$/ha; 1 641.63 US$/ha y 1 037.23 US$/ha con derechos de guías de interés del 8; 10 y 12% respectivamente.

Mendo (2008) determinó la biomasa aérea y CC en las especies forestales *P. patula, P. radiata, P motezuame, P. gregüi, P. muricata, P. pseudostrobus* y *P. pseudostrobus,* las especies estudiadas alcanzan un incremento medio anual de 38.38 m^3/ha y poseen una biomasa aérea total de 1 391 253 t/ ha, almacenando 695 627 t CO_2/ha.

Mendo (2014) determinó la valoración económica de los bienes y servicios ambientales de los ecosistemas de *P. patula*, establecidos en el distrito de Cutervo, el estudio se realizó en 250 hectáreas distribuidas en tres plantaciones, la plantación de *P. patula* de cuatro años alcanzó a secuestrar 16 t CO_2 /ha, la plantación de seis años 57.48 t CO_2 /ha y la plantación 12 años secuestró 97.29 t CO_2 /ha, lo que representó un valor económico 1.767.593,5 soles. El autor concluye que, a mayor edad, los árboles alcanzan mayor desarrollo de su estructura y mayor fijación de CO_2.

Alfaro (2017) ajustó las ecuaciones alométricas para estimar la biomasa y captura de carbono en rebrotes en la provincia de Cajamarca, para obtener las estimaciones de biomasa y captura de carbono se establecieron 15 parcelas y se utilizó como muestra nueve individuos; la ecuación que mejor se ajustó para estimar la biomasa fue $Y = b_0 + b_1 . DAP . h^2$ obteniendo 393 212 t/ha de biomasa y la ecuación para estimar el CC fue $Y = b_0 + DAP^2 . h^2$ estimando196 606 t CO_2/ha

Calderón y Solis (2008) determinaron el CO_2 almacenado en tres estados de desarrollo del bosque de *Pinus ocarpa* en Nicaragua, la plantación de *P.ocarpa* alcanzó una biomasa aérea de 266.73 t/ha, en donde concentra 35.22 t CO_2/ ha distribuidos en sus tres componentes fuste, ramas y acículas el 75, 16.7 y 8.3% respectivamente.

Alfaro (2017) estimó el potencial de captura de CO_2 en un bosque templado, los incrementos de biomasa forestal al quinto año representan entre el 25 y el 53% del valor al año 15, mientras que los incrementos al año 10 representan entre el 71 y el 92% del valor al año 15.

Meza (2013) estimó el CC en una plantación de *P. patula*, los modelos alométricos que mejor se ajustaron para estimar la biomasa en el fuste, ramas y acículas alcanzaron R^2 0.86; 0.92 y 0.88 respectivamente. Para estimar la biomasa en el fuste se utilizó las variables dasométricas DAP y ht; para estimar la biomasa de ramas y follaje se basaron en el diámetro de copa viva (DCV) y área de copa para ramas; y DCV y ht para la biomasa de follaje.

3.1 Bases teóricas

2..1 Biomasa aérea.

Guerrero y Tejada (2017) lo definen como el peso de la materia orgánica que se encentra en el tronco, fuste, ramas y follaje, es cuantificada en toneladas por hectárea

2..2 Concentración de carbono en la biomasa seca.

Es la cantidad de biomasa forestal seca multiplicada por un factor de 0.5 contenida en el tronco, fuste con DAP ≥,10 cm, ramas, follaje y subterránea en las raíces muertas (MINAM, 2016).

2..3 Las Plantaciones forestales como sumideros de CO_2

Medina (2008) establece que las plantaciones forestales producto de la forestación o reforestación con especies introducidas especialmente de coníferas como el *P. patula* cumple un papel fundamental como sumideros de carbono; Absorben grandes cantidades de CO_2 a través de su proceso fotosintético y lo intercambian con la atmósfera por medio de la respiración lo que permite el equilibrio medioambiental, secuestrando CO_2 en sus componentes aéreos ramas, fuste, follaje y acículas y subterráneos en las raíces (De la Vega, 2015).

2..4 Biomasa aérea y captura de carbono

Agraz (2020) establece que la relacion de biomasa y captura de carbono es directamente propocional, es decir a mayor biomasa mayor captura de carbono. La captura en la parte aérea es el 50 % de biomasa forestal aérea determinado por el peso seco del fuste, ramas y follaje (Labán, 2012)

2..5 Diámetro Altura del Pecho (DAP)

El DAP en los árboles normalmente es medido a una altura 1.30 tomado como referencia el nivel del suelo (*Zúñiga et al.*, 2013). Es importante considerar esta variable influye en la en la estimación de la biomasa de los árboles.

3.1 Marco conceptual

2..1 Biomasa

Hernández y Santos (2017) establece que la biomasa forestal está definida como el peso de un ecosistema forestal y se divide en biomasa aérea y biomasa subterránea. La biomasa forestal aérea es la suma de la materia orgánica seca del fuste con corteza, ramas y hojas, componentes fundamentales determinar la cobertura vegetal y determinar el secuestro de carbono (España, 2016).

2..2 Plantaciones forestales y carbono

Bernachea (2019) menciona que las plantaciones forestales son medios estrategicos que contribueyen a la captura de CO_2 a travez de la fotosintesis y lo sisntetizan como nutrientes en su estructura vegetal. Las plantaciones jovenes capturan mayor cantidad de CO_2 que los bosques maduros y su capacidad de fijación de biomasa está en función a la edad de plantación, densidad de la población y tratamientos silviculturales.

2..3 Carbono

Cuesta y del Rocio (2018) establecen que el CO_2 causa problemas adversos en la atmósfera, siendo el principal gas de efecto invernadero, el aumento de su concentracion está directamente relacionado al aumento de las actividades antrópicas y su captación y secuestro se realiza de manera natural a travez de procesos fotosintéticos y metabólicos.

2..4 Captura de carbono

La captura de carbono depende de un conjunto de reacciones metabólicos, proceso que se realiza en el estroma de la planta a travéz del NADPH, ATP y la convercion de la luz solar en eneregía química. La captura de carbono en el tiempo se convierte como sumideros de carbono a través de un proceso físico o biológico como la fotosíntesis en las plantas (Gayoso y Guerra, 2005).

2..5 Ciclo biológico del carbono

Daniela (2020) establece que es el ciclo biológico del carbono es la sucesión de transformaciones a lo largo del tiempo se da a través de procesos geológicos a largo plazo, se considera como el más rápido porque es el flujo entre la respiración y la fotosíntesis, además es producida por la descomposición de los hongos, baterías y por otro lado el océano interviene como depósito de mayores reservas de carbono

2..6 Dióxido de carbono (CO_2)

El CO_2 es el principal gas de efecto invernadero su emisión a aumentado producto de las actividades antrópicas, se estima que su concentración en la atmósfera ha crecido en 80% como consecuencia de la deforestación y el uso de combustibles fósiles, la degradación forestal, la producción de hierro y acero (Montoya, 2019).

2..7 El carbono en el suelo

El suelo tiene múltiples beneficios como el secuestro de carbono que mejora su productividad, calidad y mantiene su fertilidad, el suelo concentra carbono producto de la descomposición de restos vegetales (Cuevas *et al*., 2014).

2..8 Jalca

Sánchez (2016) establece que las zonas altoandinas mayores a 3000 msnm hasta 4200 msnm se consideran como Jalca presentan particularidades en sus climas por ser fríos que varía entre ocho y 10° y nublados en inviernos, además presenta amplias llanuras que normalmente está cubierta de especies arbustivas como la *Stipa ichu*, en su ambiente territorial es reciamente afectadas las corrientes de aire.

Las zonas altoandinas presentan climas más secos a comparación que la región páramo, en la jalca su fauna se caracteriza por presentar riqueza en especies salvajes y en su flora especies autóctonas de la zona como los pajonales y especies introducidas como en genero *Pinus* (Vidal, 2014).

2..9 Importancia del *P. patula*

Cabrera (2003) establece que las plantaciones forestales de *P. patula* proporcionan múltiples beneficios como sumideros de carbono, madera, como cercos vivos. Su instalación como planes de forestación o reforestación genera grandes ingresos económicos a corto y mediano plazo porque es una especie de rápido crecimiento y se adapta a la mayoría de tipos de suelos y en diferentes pisos altitudinales, las plantaciones de *P. patula* es una opción lucrativa para las poblaciones de las comunidades rurales.

Aarón *et al* (2012) menciona que las plantaciones forestales de *P. patula* en las zonas altoandinas contribuyen a la recuperación de suelos erosionados, degradados y permiten la incorporación de materia orgánica a través de la caída de hojas, ramas y acículas. Sotelo *et al.* (2017) las plantaciones contribuyen a reducir y mitigar el cambio climático a través de la captura de carbono.

2..10 Pinus patula

El *P. patula* es una conífera de rápido crecimiento alcanza hasta 40 metros de altura y DAP hasta 120 centímetros, sus características morfométricas principales son de fuste cilíndrico recto sin bambas, su ramificación empieza en sus dos tercias partes de altura total, presenta una corteza delgada y escamosa de color café rojizo variando a color café oscuro grisácea es oriundo de la ciudad de México y de distribuye con éxito en Argentina, Colombia y Perú (Jaime, sf).

Silva (2012) el *P. patula* de acuerdo a sus características edafoclimáticas se desarrolla a los 1400 y 3200 msnm con precipitaciones entre los 700 y 1200 mm a una temperatura de 12 a 18 °C, mejor se desarrolla en suelos profundos, bien drenados y húmedos de textura franco arenoso u arcillosos de preferencia en suelos con pH neutro o ácidos. Algunos factores limitan su normal crecimiento como la deficiencia de fósforo y boro.

Aguilera (2019) Se propagan a través de semillas y es necesario de un tratamiento pre germinativo y su germinación demora 16 días, para el desarrollo de la especie es necesario la presencia de micorrizas, sus acículas alcanzan hasta 30 cm y se agrupan en fascículos de 3 o 4 agujas. Chamorro y falconi (2019) mencionan que el *P. patula* tiene diversas utilidades en la industria se utiliza como fuente para pulpa de papel, cajas y como fuente ambiental como sumidero de carbono.

CAPÍTULO III.

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ubicación

El estudio se realizó en plantaciones forestales de *P. patula* de 5, 10 y 15 años ubicados en la comunidad de Bella Andina perteneciente al distrito de Chalamarca, provincia de Chota, Región Cajamarca, a una altitud promedio de 3250 m.s.n.m.

Tabla 1

Ubicación de las parcelas de investigación

Edad de las plantaciones de *P. patula (años)*	**Coordenadas (UTM)**		**Altitud (msnm)**
	Este	Norte	
5 años	765646	9275239	3100
10 años	775406	9272502	3389
15 años	773724	9272081	3530

En la Tabla 1 se presenta las coordenadas geográficas referenciales de las parcelas estudiadas y en la Figura 1 el mapa de ubicación.

El distrito de Chalamarca ubicado a 2400 m.s.n.m., punto más cercano al área de estudio presenta una temperatura media de 21°C y una precipitación anual promedio de 958 mm (SENAMHI, 2020). En el área de estudio se ha registrado en tres ocasiones una temperatura de 12°C. Presenta dos estaciones climáticas marcadas, la época seca entre los meses de abril y septiembre y la época húmeda entre octubre y marzo.

- **Accesibilidad**

El acceso a la comunidad de Bella Andina es por trocha carrozable a 30 minutos desde el distrito de Chalamarca y 2 horas de la provincia de Chota.

- **Relieve**

El relieve de la comunidad de Bella Andina está conformado por extensas planicies donde se encuentran pequeñas lagunas y numerosas nacientes de agua.

- **Flora**

Su vegetación dominante del área de estudio es el ichu, pasto andino empleado como forraje para alimento para 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**

Dentro de las principales actividades económicas que realizan los habitantes en las comunidades de Bella Andina, es la agricultura, debido a su producción agrícola, se destaca por la siembra de papa, oca, olluco, lenteja, hortalizas, etc. Además, se dedican a la crianza de cuyes, ganado vacuno, porcino, ovino.

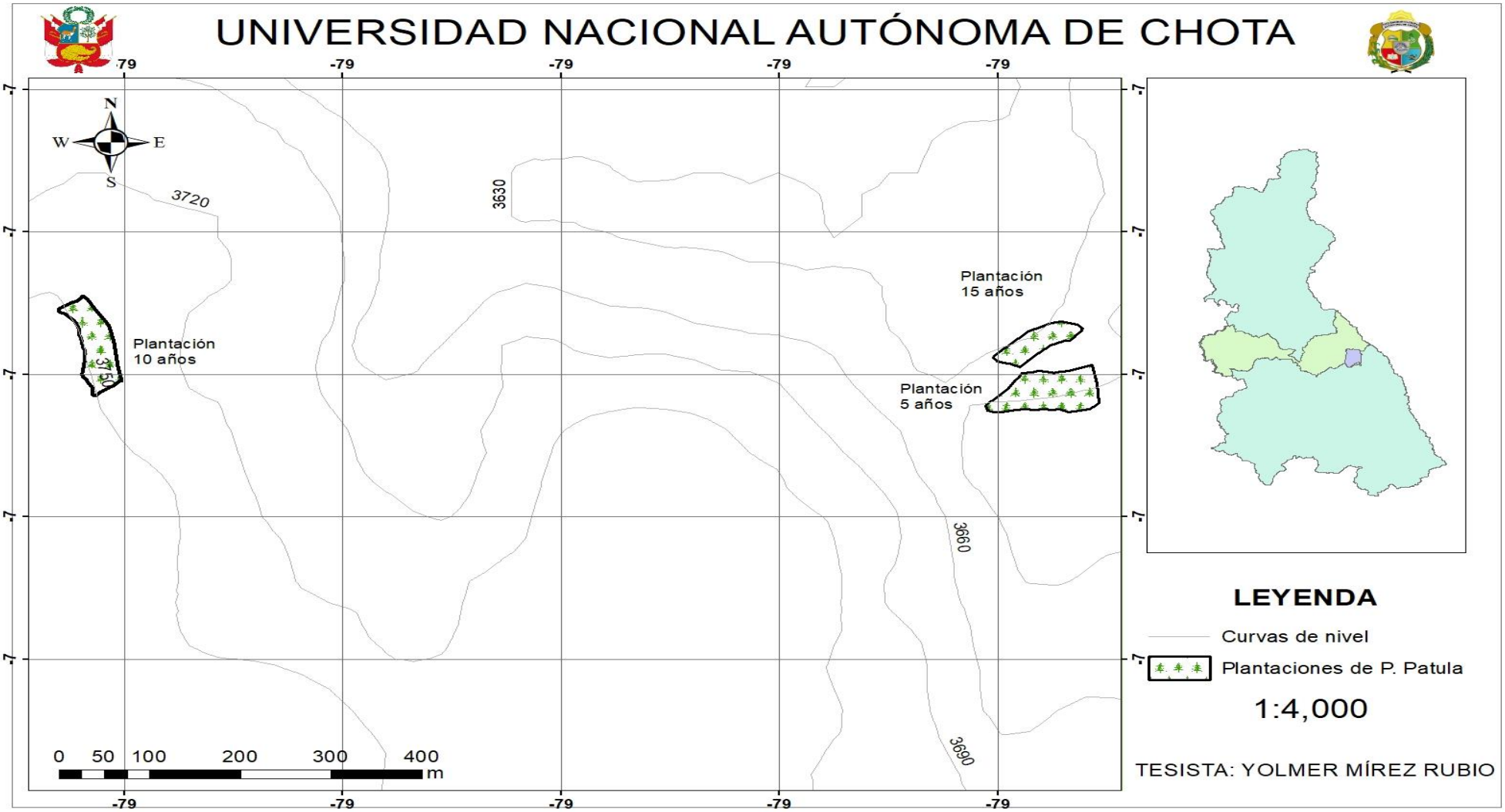


Figura 1. *Mapa de ubicación del área de investigación*

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

Está constituida por árboles de *P. patula* de tres plantaciones forestales ubicadas en la comunidad de Bella Andina, distrito de Chalamarca, provincia de Chota, plantaciones distribuidas en una superficie de 1.74 ha (Tabla 2).

Tabla 2.

Extensión de las plantaciones forestales estudiadas.

P. patula	Superficie-ha
Plantación 5 años	0.62
Plantación 10 años	0.60
Plantación 15 años	0.52
	1.74 hectáreas

3.2.2 Muestra

La muestra se conforma por árboles de *P. patula* distribuidos en 15 parcelas cuadradas de 100 m² (10x10m), tres parcelas por cada rodal de 5, 10 y 15 años de edad, siguiendo la metodología expuesta en la "guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales" del Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) (Rügnitz *et al.*, 2012). Se inventariaron 141 árboles, de los cuales se derribaron nueve individuos de los tres rodales con el fin de estimar la biomasa y captura de carbono.

3.3 Equipos, materiales e insumos

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

- Brújula
- Cámara fotográfica
- Estufa
- 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
- Cierra de arco
- Machete
- Coler

3.4 Metodología de la investigación

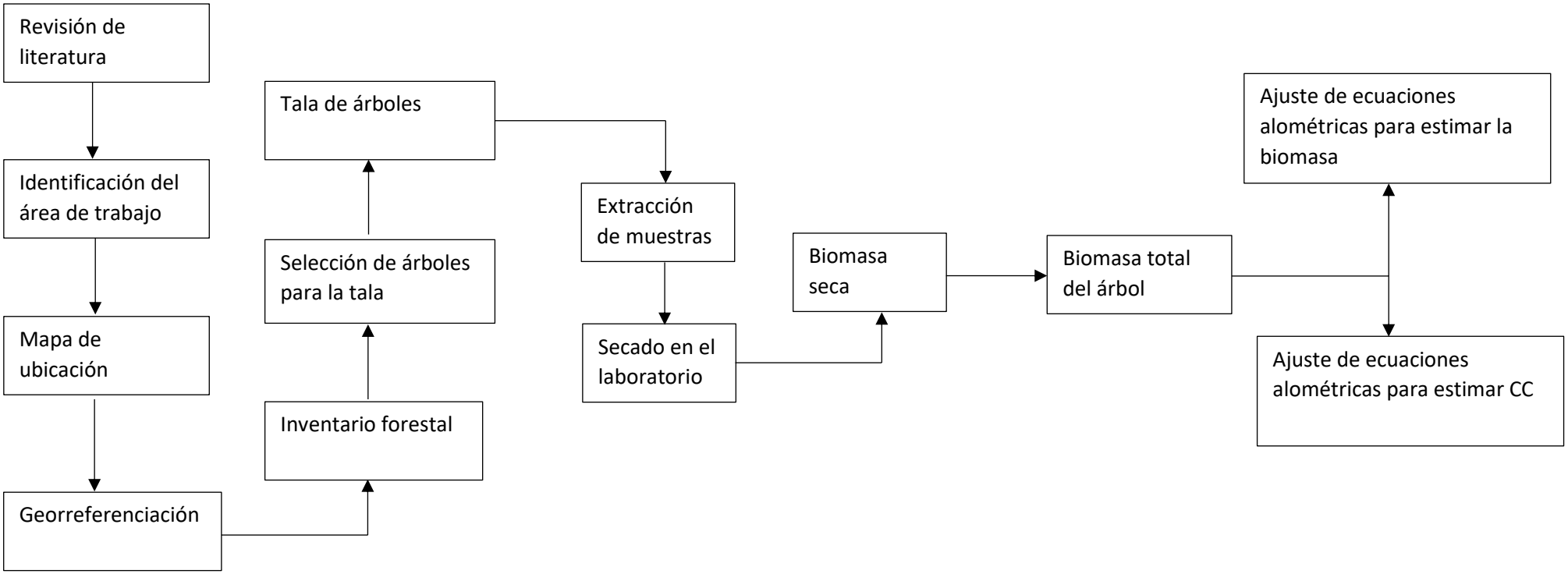
3.4.1 Tipo de investigación

Es una investigación cuantitativa pues se recolectó y procesó datos numéricos a través de procedimientos estandarizados con el fin de estimar magnitudes de los fenómenos y probar hipótesis (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018) referentes a la biomasa y captura de carbono.

3.4.2 Diseño de investigación

La investigación tiene un diseño no experimental transversal correlacional pues se tomaron datos sin la manipulación de variables con el fin de conocer la relación o grado de asociación (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018) entre las variables dasométricas DAP y altura total (ht) con biomasa aérea y captura de carbono. Es de corte transversal pues la recolección de datos se realizó en un solo momento**.**

3.4.3 Flujograma del proyecto de investigación


Revisión de literatura
Identificación del área de trabajo
Mapa de ubicación
Georreferenciación
Inventario forestal
Selección de árboles para la tala
Tala de árboles
Extracción de muestras
Secado en el laboratorio
Biomasa seca
Biomasa total del árbol
Ajuste de ecuaciones alométricas para estimar la biomasa
Ajuste de ecuaciones alométricas para estimar CC

3.4.4 Trabajo en campo

3.4.4.1 Inventario

Se realizó un inventario forestal en las tres plantaciones de *P. patula* de 5, 10 y 15 años de edad considerando una intensidad de muestreo de 8.6 %, intensidad que se enmarca en lo recomendado en la "guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales" del Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) para la evaluación del potencial de almacenamiento de carbono en árboles (Rügnitz *et al*., 2012). La intensidad de muestreo es superior a lo recomendado por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2016) en el libro "Estimación de los contenidos de carbono de la biomasa aérea de los bosques del Perú". Se instalaron 15 parcelas de muestreo de 100 m^2 (10 mx10 m), dimensión recomendada en la "guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales".

Se midió con forcípula (Figura 14) el diámetro del fuste principal a una altura de 1.30 m y la altura total del árbol con un hipsómetro Sunnto. Los datos fueron registrados en el formato de campo para el inventario forestal (Tabla 18) y procesados con el fin de conocer la distribución de árboles por clase diamétrica.

3.4.4.2 Selección de árboles para tala

En el interior de cada plantación coetánea se seleccionaron tres árboles para talar, eligiendo un árbol por parcela instalada y teniendo en cuenta el DAP promedio de los árboles de cada rodal, metodología sugerida en la guía ICRAF (Rügnitz *et al.*, 2012).

3.4.4.3 Tala de árboles

Se muestrearon nueve árboles, tres árboles de 5 años, tres de 10 años y tres de 15 años. Los árboles se talaron con una motosierra a 10 cm sobre el nivel del suelo, siguiendo lo estipulado por Schlegel (2000). La codificación de cada árbol se realizó considerando letras mayúsculas, asignando las letras A, B y C para árboles de 5 años, D, E y F a árboles de 10 años y G, H e I a árboles de 15 años (Figura 2 y 3). De cada árbol talado se midió la longitud del fuste con wincha (Figura 17), y el diámetro mayor y menor con una cinta métrica, registrando los datos en la Tabla 18.

Se realizó el trozado del fuste cada 2 m e inmediatamente se pesó en una balanza de resorte de precisión 0.01 g (Figura 18) cada sección con el fin de conocer la biomasa verde, luego con un machete se separaron las ramas del árbol y el follaje pesando cada componente (Figura 16).

3.4.4.4 Extracción de muestras por componente

Del fuste del árbol se extrajeron, cada dos metros, rodajas de 5 cm de grosor (Figura 2), tres rodajas de las ramas principales (Figura 3) y dos muestras de follaje de 200 g (Figura 3), muestras que fueron colocadas en bolsas Ziploc, codificadas (Tabla 19) e inmediatamente llevadas al laboratorio de Tecnología de la Madera de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la UNACH.

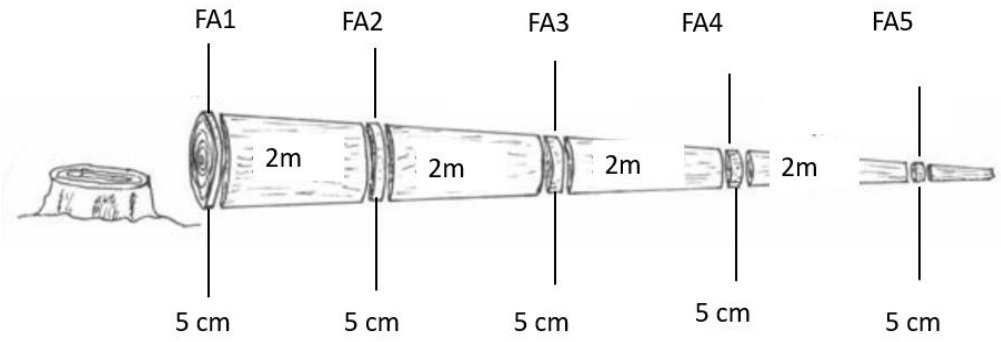


Figura 2. Extracción y codificación de muestras del fuste de *P. patula*

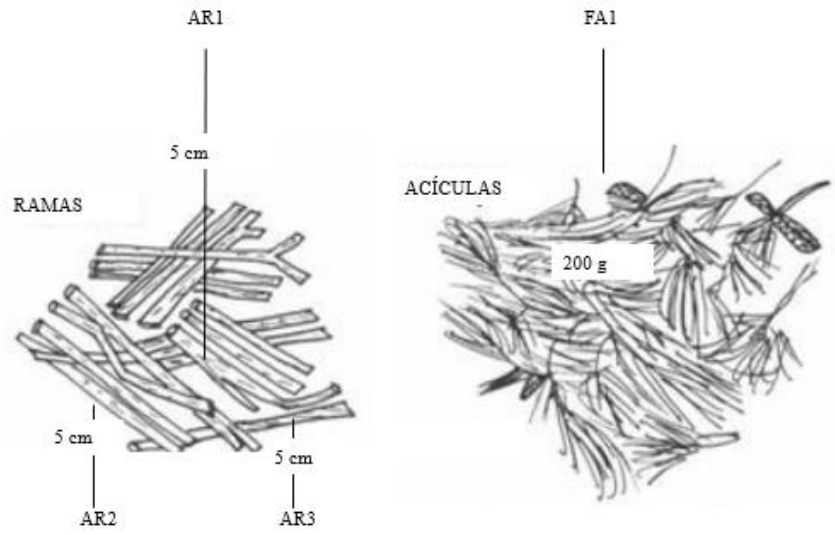


Figura 3. Extracción y codificación de muestras del ramas y follaje de *P. patula*

3.4.4.5 Fase de Gabinete

3.4.4.5.1 Secado de muestras

Se pesaron las muestras de cada componente del árbol (fuste, ramas y follaje) antes (biomasa verde) y después (biomasa seca) de ingresar a la estufa (Figura 21). El secado se realizó a una temperatura de 105 °C por un periodo cinco días. Se utilizó una balanza con plato superior y una estufa de convención forzada. Se respetó la codificación de cada muestra de ingreso al laboratorio y se registró los datos en el Formato 2 (Tabla 19).

3.4.4.5.2 Procesamiento de datos de campo

- **Biomasa seca**

Para estimar la biomasa de cada componente del árbol se utilizó la relación peso seco/peso fresco y el peso total del componente como lo recomienda Arévalo *et. al* (2003) Ec. 1.

$$\text{Biomasa seca} = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Peso fresco}} * \text{Peso del componente} \qquad 1$$

La unidad de medida de la biomasa seca, peso seco, peso fresco y peso del componente fue kilogramo.

- **Biomasa total del árbol**

Se estimó la biomasa total del árbol considerando la suma de sus componentes Ec. 2.

$$BT = (BSF + BSR + BSH) \quad 2$$

Donde BT: biomasa total (kg); BSF: biomasa seca del fuste (kg); BSR: biomasa seca de las ramas (kg) y BSH: biomasa seca del follaje (kg).

- **Carbono total del árbol**

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

$$CT = BT * 0.5 \quad 3$$

Donde CT: carbono total y BT: biomasa total.

3.4.4.6 Procesamiento estadístico

Se utilizó SPSS para el análisis estadístico, calculando los siguientes aspectos:

- **Prueba de normalidad**

Considerando que se muestrearon nueve árboles, se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk (E. 4)

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^{n} a x_{(i)})^2}{(\sum_{i=1}^{n} (x_{(i)} - x)^2} \quad 4$$

$x_{(i)}$ (con el subíndice *i* entre paréntesis) es el número que ocupa la *i-ésima* posición en la muestra (con la muestra ordenada de menor a mayor); $\times = (x_1 + ... + x_n) / n$ es la media muestral; El valor de W puede oscilar entre 0 y 1.

Tabla 3.

Niveles de significancia de la prueba de normalidad.

Valor de coeficiente positivo o negativo	Significado
0.90 a 1	Muy fuerte
0.89 a 0.79	Fuerte
0.69 a 0.40	Moderada
0.39 a 0.20	Débil
0.19 a 0.0	Muy débil

Fuente: Tomado Sánchez (2017).

- **Homogeneidad de varianzas**:

La homogeneidad de varianzas se determinó considerando la prueba de Levene, según la EC. 5.

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \qquad 5$$

Si s_1^2 y s_2^2 son las varianzas muestrales de muestras aleatorias independientes.

- **Análisis de regresión**

Para estimar la biomasa seca se realizó análisis de regresión lineal, regresión no lineal y regresión múltiple (Herrera, 2019), calculando y eligiendo con ello la ecuación con el coeficiente de determinación (R^2) más alto Ec.6.

$$\boldsymbol{R^2} = \frac{\sum_{\boldsymbol{T=1}}^{\boldsymbol{t}} (\hat{\boldsymbol{y}}_{\boldsymbol{T}} - \bar{\boldsymbol{y}})^{\boldsymbol{2}}}{\sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2} \qquad 6$$

$\hat{Yi}$: valor estimado por el modelo; Yi: valor observado en campo de la variable dependiente; $\bar{Y}$: promedio de los valores observados en campo de la variable dependiente.

Tabla 4.

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.

- **Coeficiente de variación**

$$\boldsymbol{CV} = \frac{S_X}{X} \qquad \textbf{7}$$

X: variable sobre la que se pretenden calcular la varianza, σx: Desviación típica de la variable X; | $\bar{x}$ |: Es la media de la variable X en valor absoluto con $\bar{x} \neq 0$

Tabla 5.

Criterios de evaluación del coeficiente de variación (CV).

Rango de coeficiente de variación (CV)	
$5 \leq CV \leq 10$	Muy buena
$10 \leq CV \leq 15$	Buena
$15 \leq CV \leq 20$	Regular
$20 \leq CV \leq 25$	Mala
$CV > 25$	Muy mala

Fuente: tomado de Martínez (1970)

- **Modelos alométricos**

Se ajustaron 20 modelos alométricos (Tabla 9), 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).

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{(n-1).\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - \hat{Y}_i\right)^2}{(n-p).\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - \bar{Y}\right)^2} \quad 8$$

R^2_{adj}: cuadrado ajustado o coeficiente de determinación ajustado; n: Número de observaciones de la muestra k: Número de variables independientes

$$REMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-p}} \quad 9$$

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*.

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - \hat{Y}_i\right)}{n} \quad 10$$

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

$$Sxy = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-p-1}} \quad 11$$

$\hat{Yi}$: valor estimado por el modelo; Yi: valor observado en campo de la variable dependiente; N: número de árboles usados en el ajuste; p; número de variables independientes en el modelo.

$$AIC = n.Log\hat{\sigma}^2 + 2.K \quad 12$$

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

Tabla 6.

Modelos alométricos propuestos para ser ajustados

Número	Modelo
01	$BA = \beta_0 + \beta_1 d + \varepsilon$
02	$BA = \beta_0 + \beta_1 . \frac{1}{d^2} + \varepsilon$
03	$\text{Ln } BA = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln } d + \varepsilon$
04	$\text{Ln } BA = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{d} + \varepsilon$
05	$BA = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln } d + \varepsilon$
06	Ln BA=B0+B1*d
07	BA0.5=B0+B1*d
08	BA=B0+B1*(d^2*ht)
09	Ln (BA)=B0+B1*(d^2*ht)
10	Log (BA)=B0+B1*log(d^2*ht)
11	BA=B0+(B1*d) +(B^2*d^2)
12	Ln (BA)=B0+(B1*Lnd)+(B2*lnH)
13	BA0.5=B0+(B1*d) +(B2*ht)
14	BA0.5=B0+(B1*d^2) + (B2*ht) +(B3*d^2*h)
15	BA=B0*d^{B1}
16	BA=B0[1-exp(B1*d)]^{B2}
17	BA=B0*(d^2*ht) B1
18	BA=B0*(d^{B1})*(Ht^{B2})
19	BA=exp (B0+ln(d))
20	BA=exp (B0+(B1*ln(d))+(B2*ln(d^2)))

BA: biomasa aérea; Ln: logaritmo neperiano; DAP = Diámetro a 1.3 m de la altura del suelo con o sin corteza (cm), ht: altura total; β0, β1 y β2 = Parámetros del modelo; ε = error estándar residual

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las medidas dasométricas del DAP y altura total (ht) de los nueve árboles muestreados se procesaron, obteniendo estadísticos descriptivos con el fin de evaluar la variabilidad de datos. El coeficiente de variación del DAP y la ht indican que el muestreo es aceptable está entre 5 y 8 %, respectivamente, valor que se encuentra dentro del rango 5< CV≤10 considerado como rango de precisión muy buena.

Tabla 7.

Ajuste de variabilidad del DAP y ht.

Estadísticos descriptivos	Edad de las plantaciones forestales de *p. patula*					
	5 AÑOS		10 AÑOS		15 AÑOS	
	DAP	ht	DAP	ht	DAP	ht
Mínimo	11	4.5	14	9	18	10
Máximo	13	5	16	10	20	11
Varianza	1	0.08	1	0.33	1	0.33
Desv. estándar	1	0.29	1	0.58	1	0.58
CV	8%	6%	7%	6%	5%	6%

DAP. Diámetro a la altura de pecho, ht: altura total; CV: Coeficiente de variabilidad
Desv. estándar: Desviación estándar.

Los resultados coindicen con Leckoundzou (2011) que establece que el DAP y la ht son variables dendrometría que mejor se ajustan para estimar biomasa y captura de carbono debido a que presenta menor variabilidad en plantaciones forestales coetáneas; Oliva *et al.* (2017) concuerda que para estos estudios la variable que mejor se correlaciona es el DAP.

Tabla 8.

Análisis normalidad de la biomasa total con el fuste, ramas, follaje

Componente	**Shapiro – Wilk**		
(Biomasa)	**5 años**	**10 años**	**15 años**
Fuste	0.823	0.378	0.370
Ramas	0.703	0.25	0.755
Follaje	0.494	0.945	0.536

En la tabla 8, muestra el análisis de normalidad de las tres plantaciones de *P. patula* de sus componentes de biomasa fuste, ramas y follaje, el p valor mayor alcanzado es de 0.945 y menor 0.25 resultados mayores al nivel de significancia 0.05 con lo que se concluye de los resultados siguen una distribución normal.

Tabla 9

Análisis homogeneidad de varianzas de biomasas del fuste, ramas, follaje.

Componente	**Homogeneidad de varianzas**		
(biomasa)	**Gl1**	**Gl2**	**p valor**
Fuste	2	6	0.143
Ramas	2	6	0.092
Follaje	2	6	0.729

En la tabla 9, se observa el análisis de homogeneidad de varianzas de la biomasa fuste, ramas y follaje, el p valor se encuentra entre 0.729 y 0.092, valores superiores al nivel de significancia 0.05, concluyendo que la homogeneidad de varianzas es significativa.

Tabla 10

Correlación de Pearson de los componentes de biomasa del fuste ramas y follaje

Correlación de Pearson				
Modelo	**R**	**R cuadrado**	**R cuadrado corregida**	**Error típ. de la estimación**
Fuste	0,983[a]	0.965	0.961	3.420
Ramas	0,764[a]	0.584	0.524	2.007
Follaje	0,956[a]	0.914	0.902	1.097

R: Coeficiente de correlación; R^2 : coeficiente de determinación Error Típ: Error típico.

Los estadísticos descriptivos de la tabla 10 muestran que la correlación existente entre el DAP y la biomasa de los componentes fuste, ramas y follaje es alta debido a que los coeficientes de correlación son 0.983, 0.764 y 0.956 valores que se encuentran en el rango $0.6 < r < 0.8$ y $0.8 < r < 1$ estando dentro criterios de calificación alta y muy alta. La investigación coincide con los resultados reportados por Figueroa (2010) quien estimó un coeficiente de correlación 0.94 para la relación DAP y biomasa.

Tabla 11.

Distribución de frecuencia del DAP por clase diamétrica.

Distribución de frecuencia del DAP									
N° de clases	**L. inferior**	**L. superior**	**X**	**fi**	**Fi**	**ni**	**Ni**	**fi %**	**Fi %**
1	8	10	9	19	19	0.135	0.13	13	13
2	10	12	11	31	50	0.220	0.35	22	35
3	12	14	13	30	80	0.213	0.57	21	57
4	14	16	15	20	100	0.142	0.71	14	71
5	16	18	17	31	131	0.220	0.93	22	93
6	18	20	19	4	135	0.028	0.96	3	96
7	20	22	21	5	140	0.035	1	4	100
8	22	24	23	1	141	1		100	

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

frecuencia relativa acumulada; f%: frecuencia porcentual; F: frecuencia porcentual acumulada.

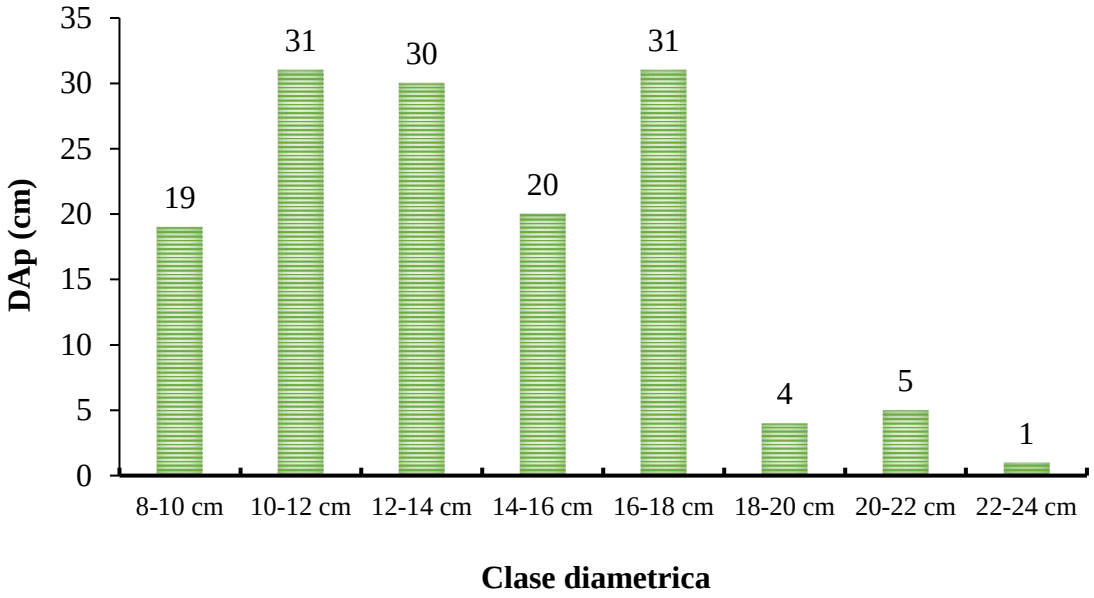


Figura 4. Distribución de clase diamétricas de las tres plantaciones de P. patula

En la Tabla 11 y Figura 4 se muestra la frecuencia de individuos distribuidos en ocho clases diamétricas con amplitud de intervalo de dos centímetros. De las tres plantaciones de *P. patula*, la mayor cantidad de individuos se encuentran en las clases diamétricas 10-12, 16-18 y 12-14 cm con 31, 31 y 30 individuos, respectivamente y la menor cantidad se encuentra en la clase diamétrica de 22-24, 18-20 y 20-22 cm con 1, 4 y 5 individuos. Se ha registrado un DAP máximo de 24 cm y un DAP mínimo de ocho cm en las plantaciones de 15 y 5 años, respectivamente.

Tabla 12.

Distribución de biomasa aérea en P. patula de 5, 10 y 15 años.

DAP	Edad	Componente			Biomasa
(cm)	Años	Fuste	Ramas	Follaje	(kg)
11	5	9.678	1.624	3.541	14.843
13	5	11.5	1.201	5.498	18.199
12	5	7.157	1.47	4.979	13.606
14	10	24.8	7.891	5.804	38.495
15	10	29.84	4.561	7.256	41.617
16	10	31.16	4.611	6.566	42.337
19	15	50.58	5.04	11.336	66.956
20	15	52.95	8.93	12.95	74.83
18	15	41.31	7.42	12.49	61.21

La biomasa total por individuo varió de 74.83 kg en árboles de 20 cm de DAP a 13.61 kg en árboles con 12 cm de DAP (Tabla 12). En las tres plantaciones, la mayor cantidad de biomasa se concentra en el fuste (65%), seguido del follaje (24%) y en menor cantidad en las ramas (11 %), coincidiendo con lo encontrado por Díaz *et al*. (2007) en la evaluación de cinco árboles de *P. patula*, quienes calcularon una distribución de biomasa de 49.26% en el fuste, seguido del follaje 32.21% y en menor cantidad en de ramas 18.53%; no obstante, Rojo *et al.* (2005) indica que generalmente el follaje de una especie leñosa representa el 1.5% de la biomasa total.

García (2014) establece que la cantidad de biomasa en *P. patula* depende donde se desarrolla la planta, en suelos profundos, fértiles con pH entre 4.5 y 6.8, bien drenados alcanzan mayor altura y mayor vigorosidad factores influyentes en la cantidad de biomasa. En cambio, Peralta (2011) menciona el *P. patula* no se desarrolla bien en suelos erosionados e infértiles, delgados, arenosos y pedregosos.

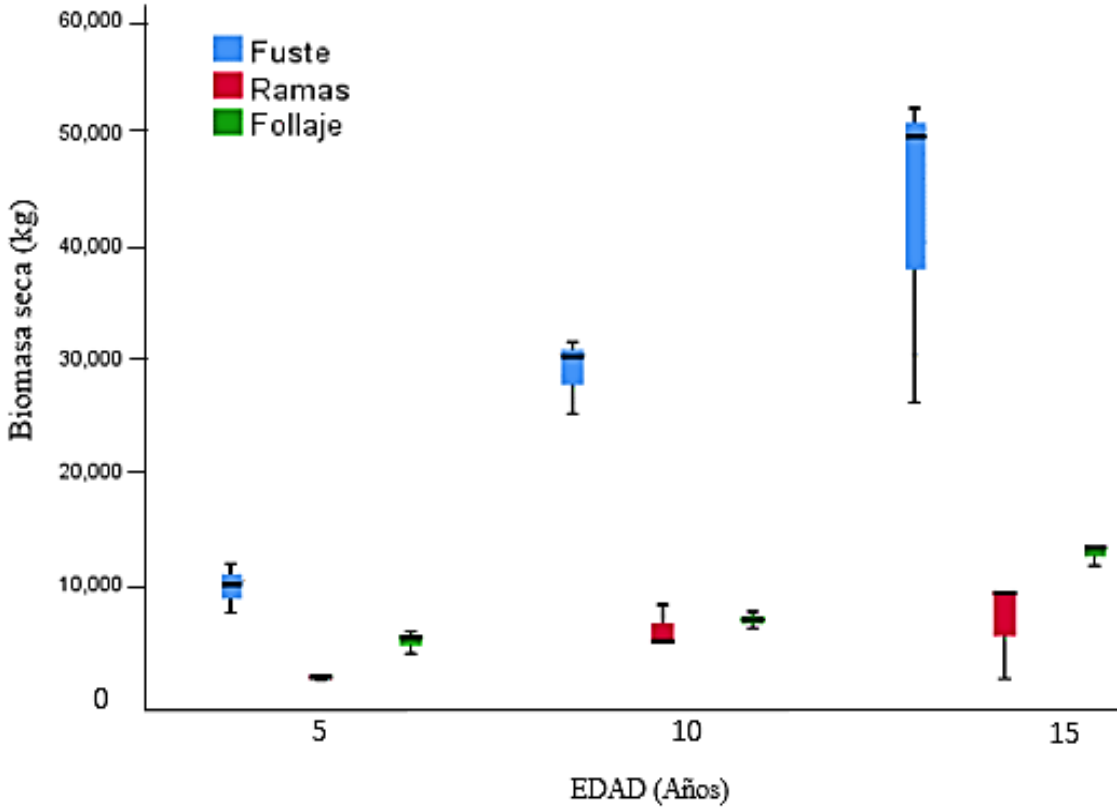


Figura 5. Biomasa promedio en los componentes fuste ramas y follaje.

En la figura 5 se observa la biomasa seca por componente, mostrándose mayor biomasa en los tres componentes (53 kg en fuste, 11 kg en follaje y 9 kg en ramas) de árboles de 15 años, seguido de la plantación de 10 años (28 kg en fuste, 6 kg follaje y 5.92 kg ramas) y menor biomasa en árboles de 5 años (10 kg en fuste, 4 kg en su follaje y 2 kg en sus ramas).

Estos resultados guardan similitud con la investigacion desarrollada por Guadalupe (2016) sobre captura de carbono en plantaciones de *P. patula* en Veracruz, estableciéndose un incremento constante en plantaciones de 4 años hasta 12 años y menor incremento en plantaciones de 12 a 15 años.

Reyes *et al.* (2020) aportan que las precipitaciones son variables climáticas muy significativas que influyen en gran medida en el crecimiento radial de los *P. patula.* Además los nutrientes esenciales como establen Reyes *et al.* (2007) que las deficiencias fósforo reduce el crecimiento de la altura total y del fuste en *P. patula* y aumenta la mortandad en sus primeras etapas de desarrollo.

Tabla 13

Ecuaciones probadas y ajustadas para estimar la biomasa aérea.

N°	Condición	Indicadores estadísticos					
		R^2	r^2ajus	RECM	E	Sxy	AIC
1	Aceptado	0.9656	0.9606	4.5394	-0.0024	12.0101	16.8436
2	Aceptado	0.8952	0.8803	7.9180	-0.0001	20.9489	21.1927
3	Aceptado	0.9356	0.9264	6.2094	0.0599	16.4287	19.2927
4	Aceptado	0.9613	0.9557	4.8143	0.2754	12.7374	17.3033
5	Aceptado	0.9562	0.9500	5.1167	0.0010	13.5375	17.7795
9	Aceptado	0.8953	0.8804	7.9139	-0.2001	20.9382	21.1887
10	Aceptado	0.9794	0.9764	3.5124	0.0676	9.2929	14.8385
12	Aceptado	0.9759	0.9678	4.1046	0.1143	10.0541	17.4540
19	Aceptado	0.9523	0.9455	5.3437	-0.2546	14.1380	18.1188

R^2: coeficiente de correlación, r^2ajus: coeficiente de correlación ajustado; Sxy : el error estándar de la estimación RECM: Raíz del error medio cuadrático E: error, AIC: Índice de Akaike.

Se ajustaron 20 modelos alométricos (Tabla 20) de los cuales nueve alcanzaron desempeños significativos. De los modelos ajustados, el modelo 2 alcanzó menor desempeño de sus indicadores estadísticos, pues el R^2 y r^2 ajustado fueron de 0.8952 y 0.8803, respectivamente; así mismo, los modelo 2 y 4 presentaron mayores valores del RECM, E, Sxy y AIC, 7.91, 0.2754, 209489 y 21.1927 respectivamente, concluyendo con ello que los modelos 2 y 4 son menos confiables para estimar la biomasa aérea. Los tres modelos que presentaron los mejores indicadores estadísticos fueron el 1, 10 y 12, con R^2, r^2 ajustado superior y RECM, E, Sxy y AIC inferior; estos modelos estiman correctamente la biomasa aérea del *P. patula* y con el fin de elegir el modelo que mejor se ajusta se realizó la prueba ANOVA (Figura 6).

Tabla 14.

Modelos alométricos con mejores indicadores estadísticos para estimar la biomasa

N°	Indicadores estadísticos					
	R^2	r^2ajus	RECM	E	Sxy	AIC
1	0.9656	0.9606	2.2697	0.0016	6.0051	11.4251
10	0.9794	0.9764	1.7572	0.0338	4.6492	9.4246
12	0.9759	0.9678	2.0525	0.0571	5.0277	12.0364

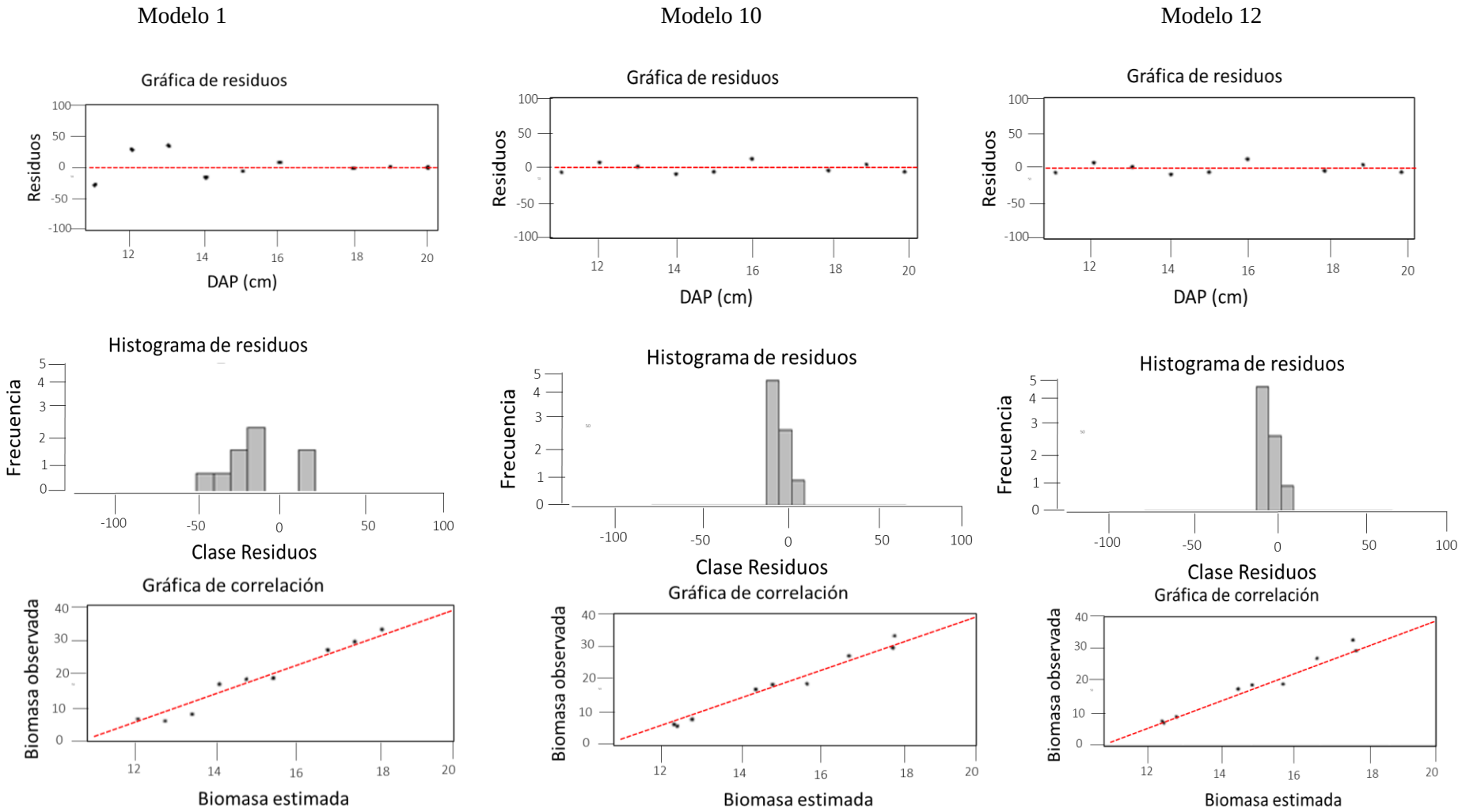


Figura 6 análisis grafico del mejor modelo alométrico para estimar biomasa aérea en P. patula.

La Figura 6 y Tabla 14 muestran el comportamiento de los indicadores estadísticos de los modelos 1, 10 y 12 que mejor estiman la biomasa aérea. El modelo uno no presenta una buena distribución de histograma de residuos (campana muy amplia) y el modelo 12 presenta sobreestimación de biomasa en los primeros diámetros (heterogeneidad de varianzas del residuo), por lo que se consideran menos fiables. El modelo 10 estima mejor la biomasa aérea de *P. patula* pues presenta una distribución normal y los errores son constantes para diámetros menores y mayores (homogeneidad de varianza), esto se debe a que este modelo incluye la variable ht. La investigación tiene similitud con lo reportado por Rodríguez *et al.* (2012) quienes establecen que la biomasa de las ramas y del árbol completo se debe estimar en función del diámetro normal (DAP 1.30 m) como variable independiente. Solano *et al*. (2014) consideran que las ecuaciones alométricas se debe estimar la biomasa en función al DAP y la altura total de árbol porque se correlacionan mejor y precisan mejor la estimación.

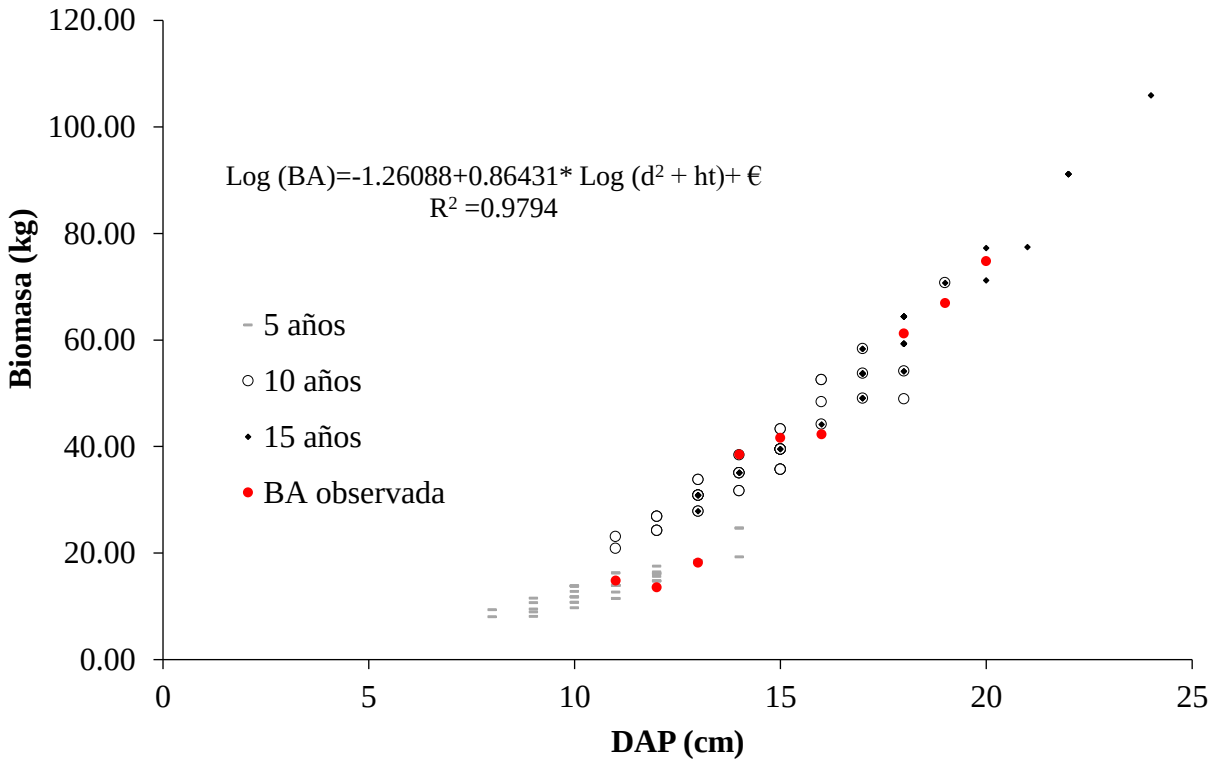


Figura 7. Dispersión de los valores de biomasa aérea en función del DAP

En la figura 7 se muestra la distribución de biomasa en función al DAP (cm) de las tres plantaciones de *P. patula*, la ecuación que mejor determina la biomasa aérea es el modelo 10: $Log(BA) = -1.26088 + 0.86431 * Log\,(d2 + ht) + €$, el que alcanza un $R^2 = 0.975$. Utilizando este modelo se ha calculado una biomasa de 8.2 kg y 105.94 kg, correspondientes a los árboles con el menor DAP (8 cm) y mayor DAP (24 cm) y alturas de 4 y 11 metros, respectivamente. Oliva *et al.* (2017) estimaron la biomasa por individuo de *P. patula* en función al DAP, utilizando como mejor modelo alométrico ajustado $B = 0.67.74 * DAP^{1.1779}$ modelo que alcanzó un nivel de confianza de R^2 de 0.91. Acosta *et al.* (2019) indican que la ecuación que mejor se ajusta para estimar biomasa es $Y = 2.8935x - 4.9131$ con un nivel de confianza de R^2 0.8881.

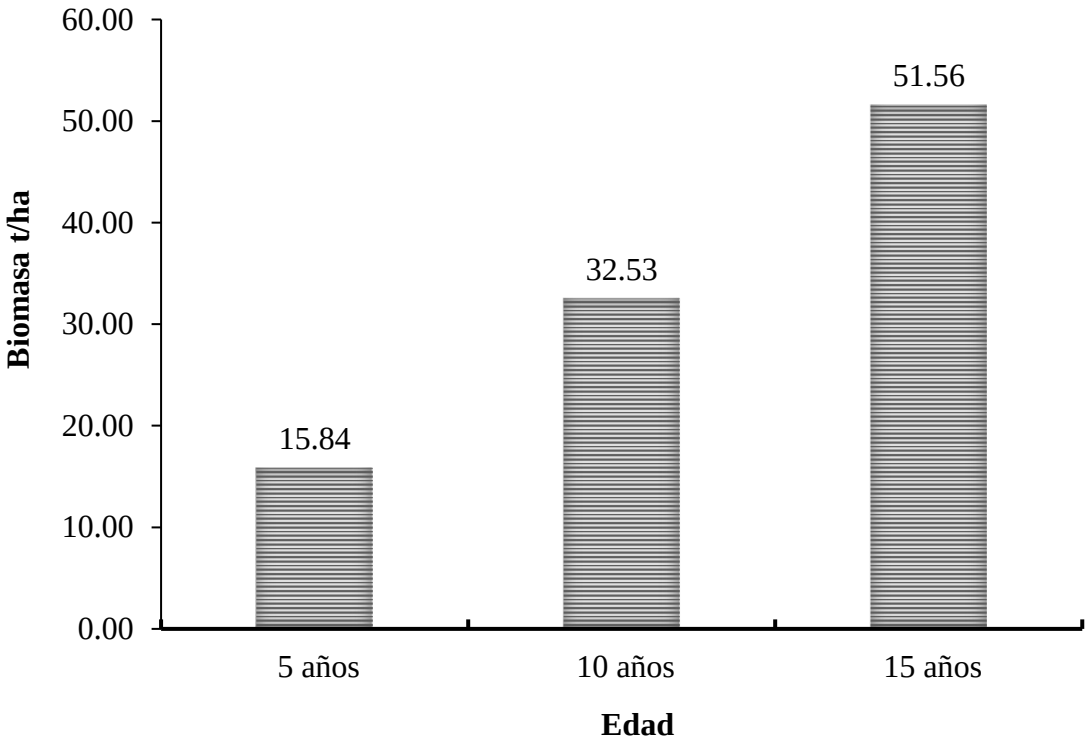


Figura 8. Biomasa total promedio existente en las tres plantaciones de *P. patula*.

En la figura 8 se presenta los resultados de biomasa seca de las plantaciones de *P. patula*, estimándose una concentración de 51.56 t/ha de biomasa en la plantación de 15 años, 32. 53 t/ha en la plantación de 10 años y 15.84 t/ha en la de 5 años; cabe indicar que la densidad de la plantación es de 644, 678 y 689 respectivamente. Existe mayor diferencia en la biomasa seca entre las plantaciones de 15 y 10 años (19.03 t/ha) en comparación con la plantación de 10 y 5 años (16.69 t/ha). Fonseca (2017) manifiesta que la cantidad de biomasa aérea depende de la edad del incremento de las variables DAP, altura comercial y total.

Méndez *et al.* (2011) estimaron una biomasa total aérea de 39.36 t/ha en 50 árboles de *P. patula* de 11 a 13 años instalados en áreas con temperatura promedio de 15 °C y a una altitud de 2850 m.s.n.m., valor superior a lo encontrado en la comunidad de Bella Andina. Este comportamiento se debe principalmente al factor climático limitante del área evaluada, pues *P. patula* se desarrolla mejor entre 1800 y 2700 m.s.n.m. y a temperatura entre 18 y 24°C.

Rimarachin (2018) establece que la cantidad de biomasa en *P. patula* son variables químicas fuertemente dependientes de la fenología de la planta y de la edad de la biomasa, concuerdan Chávez *et al.* (2016) afirmando que las plantaciones forestales mientras mayor edad alcance almacena mayor cantidad de biomasa es sus componentes aéreos fuste, ramas y follaje.

Tabla 15.

Distribución del CC en los componentes fuste ramas y follaje.

DAP (cm)	Edad Años	Componente			Carbono (kg)
		Fuste	Ramas	Follaje	
11	5	4.84	0.81	1.77	7.42
13	5	5.75	0.60	2.75	9.10
12	5	3.58	0.74	2.49	6.80
14	10	12.4	3.94	2.90	19.24
15	10	14.92	2.28	3.63	20.81
16	10	15.58	2.31	3.28	21.17
19	15	25.29	2.52	56.68	33.48
20	15	26.47	4.46	6.48	37.42
18	15	20.66	3.71	6.24	30.61

En la tabla 15 se muestra la distribución del carbono aéreo en los tres componentes del árbol, fuste, ramas y follaje. La cantidad de carbono aéreo total por individuo varió de 37.42 kg en árboles de 20 cm DAP a 6.80 kg en árboles de 12 cm de DAP. El fuste es el componente del árbol que mayor carbono almacena y las ramas el que menor almacena (65.23 y 10.92 %). Según Díaz *et al.* (2007) en su investigación de los árboles muestreados el DAP varió de 6.7 a 64.1 cm y el CC de 7.62 a 41.76 kg, concentrándose 60 % en el fuste 19.6 en las hojas y 20.4 en las ramas.

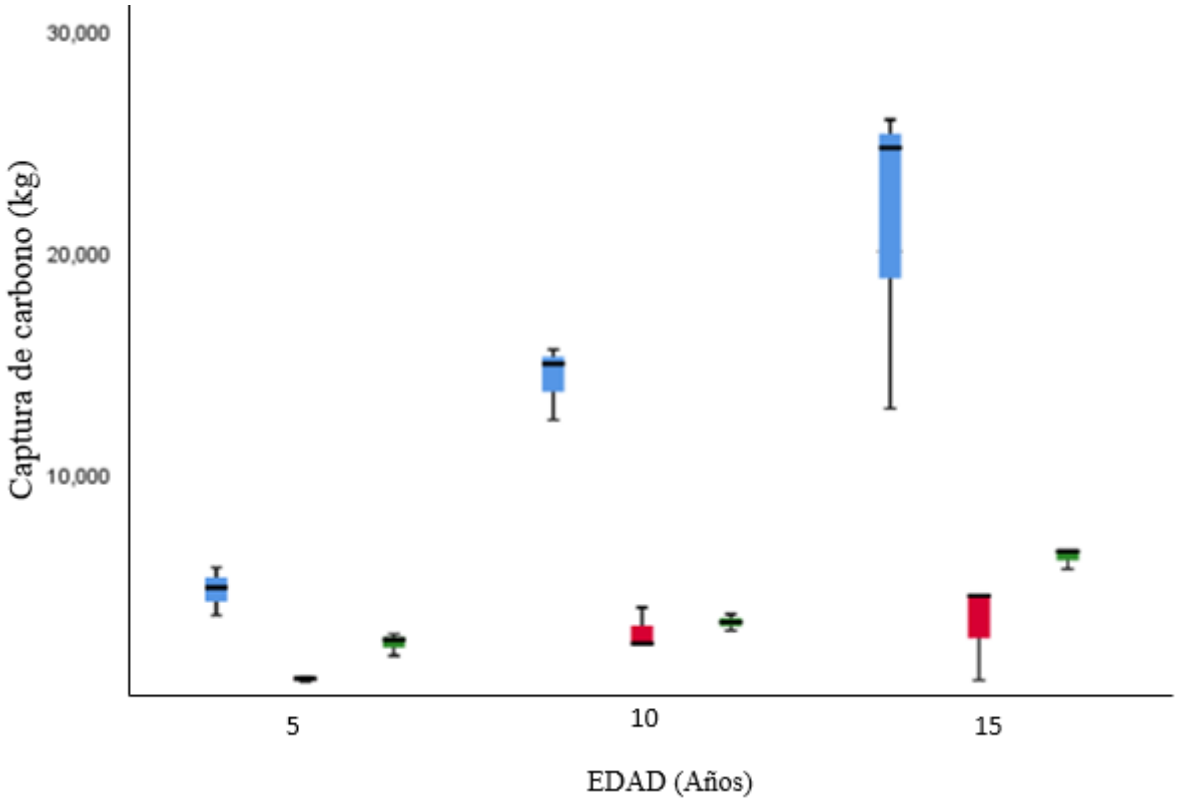


Figura 9. Carbono promedio en los componentes fuste ramas y follaje

En la Figura 9 se muestra la cantidad carbono promedio por árbol, observándose que los árboles con mayor cantidad de carbono almacenado en su estructura aérea son los de 15 años (36.5 kg CO_2/ind.) y los que secuestran menor cantidad los de 5 años (7.88 kg CO_2/ind.). coincidido con Figueroa que establece que existe una directa entre el DAP y el carbono, con un valor máximo cercano al 50% de la biomasa y que la proporción de carbono en los diferentes componentes estructurales varía de acuerdo al tamaño del árbol.

Tabla 16.

Ecuaciones probadas y ajustadas para estimar el CC aéreo.

N°	Condición	Indicadores estadísticos					
		R^2	**r^2ajus**	**RECM**	**E**	**Sxy**	**AIC**
1	Aceptado	0.9656	0.9606	2.2697	0.0016	6.0051	11.4251
2	Aceptado	0.8952	0.8802	3.9601	0.0005	10.4775	15.7764
3	Aceptado	0.9356	0.9264	3.1038	0.0294	8.2118	13.8717
4	Aceptado	0.9613	0.9558	2.4064	0.1371	6.3668	11.8824
5	Aceptado	0.9562	0.9500	2.5585	-0.0017	6.7692	12.3615
9	Aceptado	0.8954	0.8804	3.9566	-0.0973	10.4681	15.7694
10	Aceptado	0.9794	0.9764	1.7572	0.0338	4.6492	9.4246
12	Aceptado	0.9759	0.9678	2.0525	0.0571	5.0277	12.0364
19	Aceptado	0.9522	0.9454	2.6740	-0.1284	7.0746	12.7065

R^2: coeficiente de correlación, r^2ajus: coeficiente de correlación ajustado; Sxy : el error estándar de la estimación; RECM: Raíz del error medio cuadrático E: error, AIC: Índice de Akaike.

En Tabla 16 se presenta los modelos aceptados con mejores ajustes estadísticos. Los menores valores para el R^2 y r^2 ajus fueron de 0.8952 y 0.880 respectivamente para el modelo 2, y los mayores valores del RECM, E, Sxy y AIC para los modelos 2 y 4, indicando con ello que son los modelos menos confiables. Los tres modelos que presentaron mejores indicadores estadísticos fueron el 1, 10 y 12, pues alcanzaron mayor R^2 y r^2ajus y menor RECM, E, Sxy y AIC; estos modelos estiman correctamente el carbono del *P. patula* por lo cual fueron evaluados a través de la prueba ANOVA (Figura 10).

Tabla 17.

Modelos alométricos con mejores indicadores estadísticos para estimar el CC.

N°	Indicadores estadísticos					
	R^2	**r^2ajus**	**RECM**	**E**	**Sxy**	**AIC**
1	0.9656	0.9606	2.2697	0.0016	6.0051	11.4251
10	0.9794	0.9764	1.7572	0.0338	4.6492	9.4246
12	0.9759	0.9678	2.0525	0.0571	5.0277	12.0364

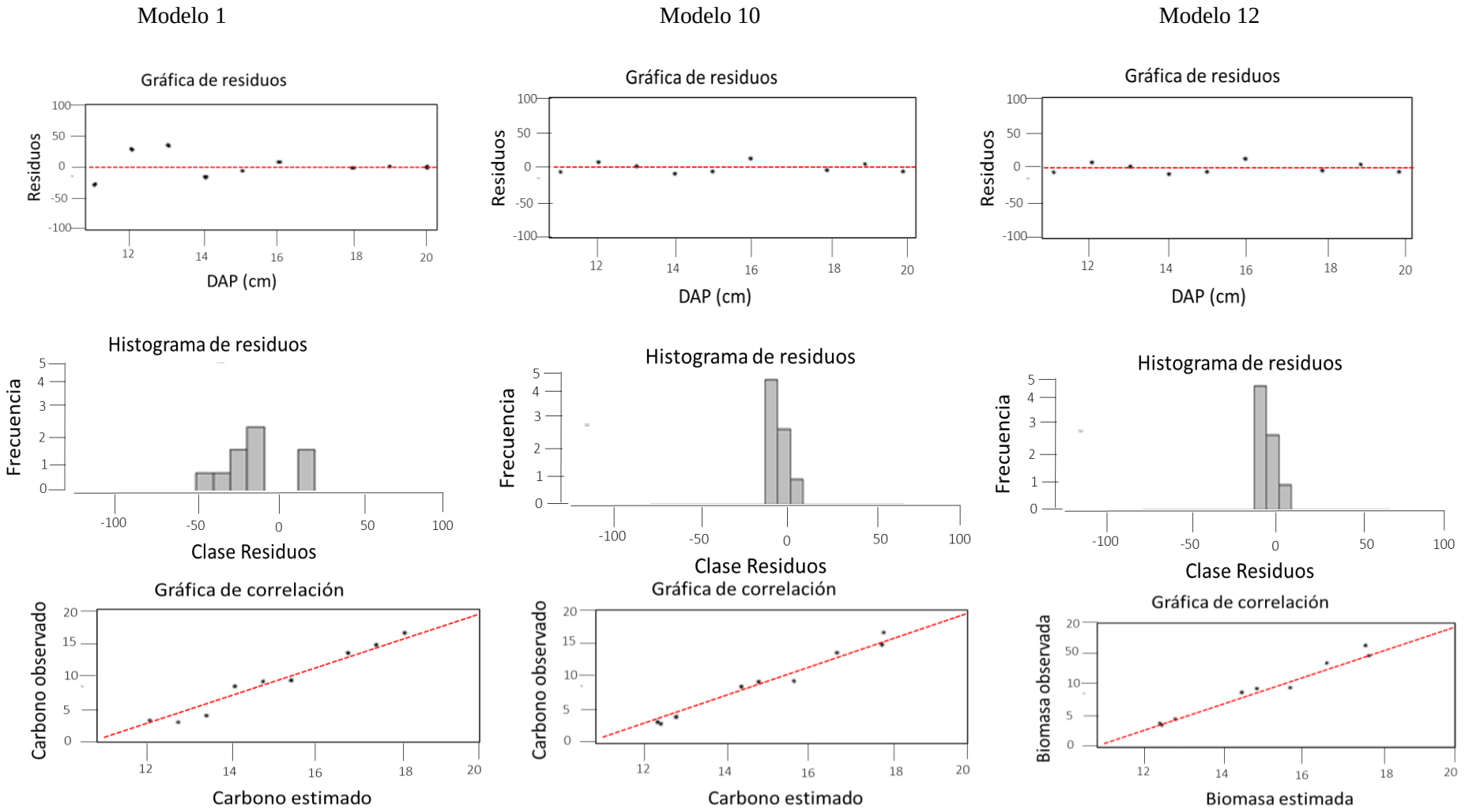


Figura 10. *Análisis grafico del mejor modelo alométrico para estimar el CC en P. patula.*

La Tabla 17 y la Figura 10 muestran el comportamiento estadístico de los supuestos del ANOVA de los modelos para estimar el CC 1, 10 y 12. El modelo 1 y 12 se descartan porque no presentan una buena distribución de histograma de residuos (campana muy amplia) y heterogeneidad de varianzas del residuo, respectivamente. El modelo 10 es más fiable para estimar el CC en *P. patula* pues presenta una distribución normal y los errores son constantes para diámetros de fuste menores y mayores (homogeneidad de varianza). La investigación coincide con lo planteado por Hernández *et al.* (2017) que ajustó varios modelos alométricos para estimar el carbono de fuste, ramas y follaje con lo que determina que la inclusión de la altura total del árbol en la correspondiente mejora el ajuste del modelo alométrico, ya que alcanza un R^2 de determinación más alto y el más bajo cuadrado medio del error.

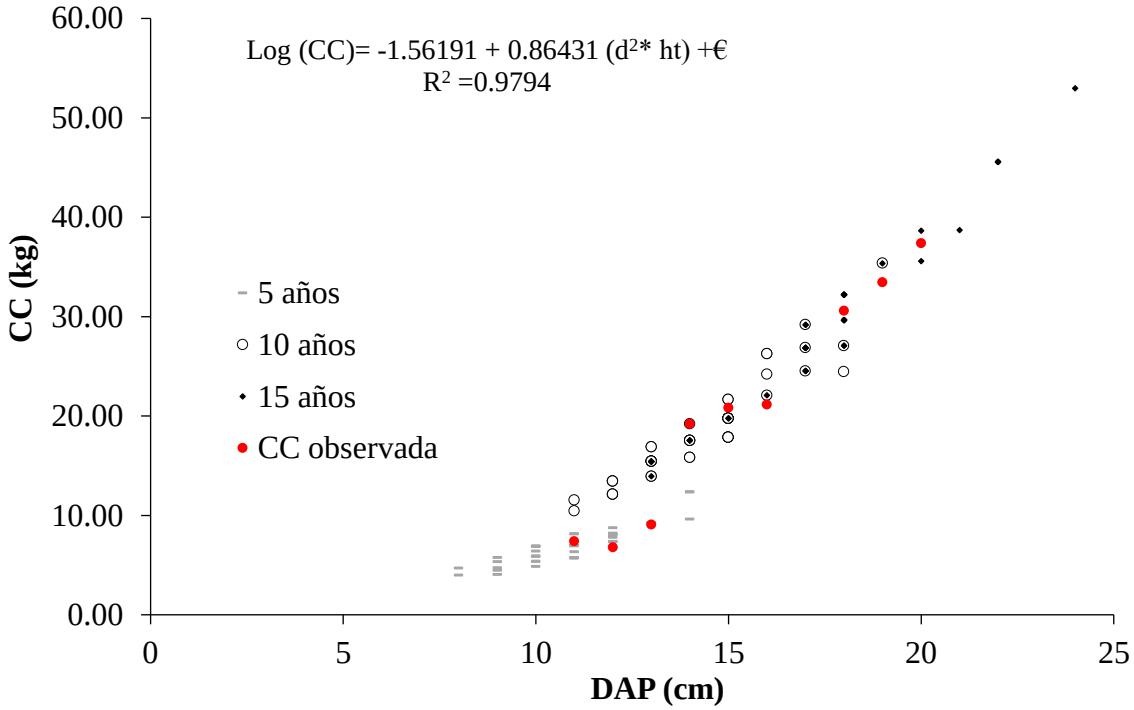


Figura 11. Dispersión de los valores de carbono aéreo en función del DAP

En la Figura 11 se muestra la dispersión de los valores de contenido de carbono (CC) determinando por el modelo 10, modelo que está en función del DAP y la ht, siendo su expresión: $\text{Log}\,(CC) = -1.56191 + 0.86431\,(d^2 * \text{ht}) + €$. El $R^2 = 0.9793$ es significativo (mayor a 0.75). El menor CC (4.1 kg CO_2) se registra en un árbol de cinco años que tiene un DAP de 8 cm y una altura de 5 metros; en cambio la máxima cantidad de carbono (52,97 kg CO_2) se registra en un individuo de 15 años correspondiente a un DAP de 24 cm y una altura total de 11 metros.

En su investigación Díaz *et al*. (2007) determinó el carbono en una plantación en función a una sola variable dasométrica, mediante la ecuación $CC = 0.021 * DN\ 2.6451$, con R^2, distribuido el 82, 10, 8% en el fuste, ramas y follaje respectivamente.

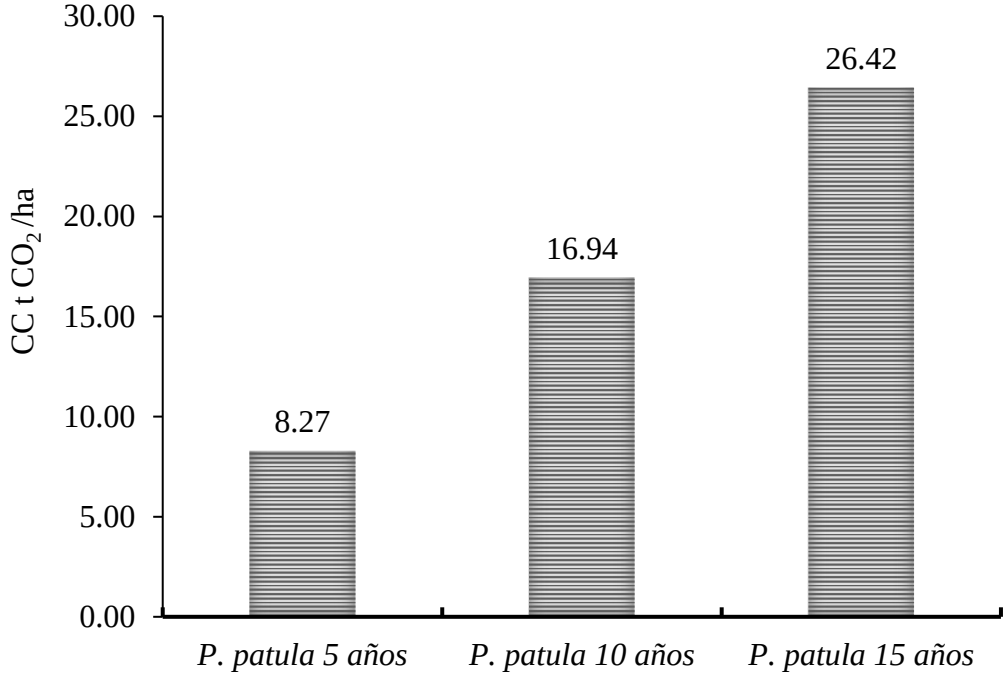


Figura 12. CC total promedio existente en las tres plantaciones de *P. patula.*

La plantación 15 años concentra mayor CC en su componente aéreo con un total de 26.42 t CO_2/ha, mientras que en menores cantidades las plantaciones de 10 y 5 años con 16,94 t CO_2/ha y 8.26 t CO_2/ha, respectivamente, como se ilustra en la Figura 6. Los resultados tienen similitud con lo encontrado por Guadalupe (2016) que estudió 526 en promedio de *P, patula* de 6, 10 y 15 años determinado 5.75, 11. 50 y 23.01 t CO_2/ha, valores inferiores a nuestra investigación, debido que la densidad de plantación es inferior. Rodríguez (2009) indica que la determinación de la biomasa forestal es un elemento es de gran importancia debido a que permite determinar la cantidad de carbono existentes en las hojas, ramas, fuste y raíces.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES

El modelo alométrico que mejor se ajusta para estimar la biomasa aérea en plantaciones de *Pinus patula* instaladas en Bella Andina es Log (BA)=-1.26088+0.86431* Log (d^2 + ht)+ €, con un R^2 =0.9794, r^2ajustado: 0.9764, RECM= 3.5124, E= 0,0676, Sxy= 9.2929, AIC=14.83 y el modelo para estimar la captura de carbono es Log (CC)= -1.56191 + 0.86431 (d^2* ht) +€, con un R^2 =0.9794 y , r^2ajustado: 0.9764, RECM= 3.5124, E= 0.0338 Sxy= 4.6492, AIC=9.424, pues tienen un mejor desempeño estadístico, aceptando con ello la hipótesis planteada.

La plantación de *P. patula* de 5 años alberga una biomasa aérea de 15.84 t/ha, la de 10 años 32. 53y t/ha y la de 15 años 51.56 t/ha, concentrandose mayor biomasa en el fuste, seguido follaje y en menor proporción en las ramas.

La plantación que presenta mayor almacenamiento de carbono es la de 15 años con 26.422 tC/ha, seguido de la plantación de 10 años con 16,944 tC/ha y en menor cantidad la de cinco años con 8.267 tC/ha, indicando que la cantidad de carbono almacenado está en función del DAP y la altura total del árbol.

RECOMENDACIONES

A la comunidad científica se sugiere evaluar el potencial de captura de carbono de diversos ecosistemas forestales altoandinos.

A los investigadores se recomienta incluir la variable crecimiento en la estimación de biomasa y captura de carbono de plantaciones forestales.

A la Universidad e instituciones involucradas, se recomienda difundir la importancia de esta especie forestal en el almacenamiento de carbono.

A los diversos niveles de gobierno, se recomienda asesosar a los productores forestales para el aprovechameinto del mercado de bonos de carbono con el fin de diversificar los ingresos económicos.

CAPÍTULO VI.

REFERENCIAS BIBILOGRAFÍCAS

Aarón , D., Cerda, A., Cueto, J. A., y Muñoz, J. (2012). Determinación de carbón total y carbón orgánico en diferentes suelos usando método de combustión seca. *Agrociencia, 12 (3) 2012*, 143-151.

Acosta, M., Vargas, A., Velásquez, M.,y Etchevers, B. (2002.). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Ciencia, 36 (6)*, 725-736.

Acosta-Mireles, M., Carrillo-Anzures, F., & Díaz Lavariega, M. (2009) Determinación de carbono total en pinares mixtos. (*Pinus patula* Schl. et Cham.). *Terra*, *27*(2), 105-114.

Agraz, C. M., Chan-Keb, C. A., Chávez-Barrera, J., Osti-Sáenz, J., Expósito-Díaz, G., Alonso-Campos, V. A., ... & Rivera-Arriaga, E. (2020). Reserva de carbón en un ecosistema de manglar al norte de México: cambios ambientales durante 35 años. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. V (*91)*, pp. 22.

Rügnitz, M. R., León, M. C., & Porro, R. (2012). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. World Agroforestry Center.

Aguilera, A. C. (2019). *Evaluación ambiental a las actividades fito-profilácticas y sanitarias prescritas para el control del Dendroctonus e Ips sp en Pinus oocarpa de la reserva natural Tomabú, en el periodo 2016-2018* (tesis doctoral), Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Aldana, L, R. (2017). *Equilibrio entre el CO_2 del ambiente y CO_2 capturado por biomasa de especies forestales ornamentales y en el suelo en la Av. Trapiche, Comas 2017* (tesis título), Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.

Alfaro, R. O. (2017). *Captura de carbono en rebrotes de Eucalyptus globulus Labill "eucaliptus" en motil, provincia de Otuzco del departamento de la Libertad-Perú*. (tesis posgrado), Universidad Nacional de Trujillo, Perú.

Arévalo, T., Alegre, J., Arévalo, L. 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en san martín, Perú. *Ecología Aplicada. Vol 3(1,2),* pp.20-55

Baca, J. E. (2017). *Captura de dióxido de carbono (CO_2) de especies forestales como mecanismo de compensación ambiental en una vía de alta presión vehicular (Avenida Separadora Industrial)-Lima, 2017*. (tesis título), Universidad Nacional de Trujillo, Perú.

Bermúdez, V. (2003). *Creación y promoción de un proyecto forestal mediante la titularización como una fuente de financiamiento a mediano y largo plazo para la ESPOL* (tesis de pregrado). La Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.

Bernachea. J, N. (2019). *Valoración económica y secuestro de CO_2 en bosques plantados de eucalipto (Eucalyptus globulus labil) y pino (Pinus radiata) de 11 años de edad en Cochatama, Distrito Huacar, provincia Ambo departamento Huánuco–setiembre, 2018–febrero, 2019.* (tesis título), Universidad de Huánuco, Perú.

Cabrera, C. (2003). *Plantaciones forestales: Oportunidades para el desarrollo sostenible.* (tesis de pregrado). Universidad Rafael Landívar, Guatemala.

Calderón, R, D. A., & Solís Urbina, D. E. (2012). *Cuantificación del carbono almacenado en tres fincas en tres estados de desarrollo del bosque de pino (Pinus oocarpa, L.) Dipilto, Nueva Segovia, Nicaragua* (tesis doctoral), Universidad Nacional Agraria, Lima, Perú.

Cargua, F. E., Rodríguez, M. V., Recalde, C. G., & Vinueza, L. M. (2014). Cuantificación del contenido de carbono en una plantación de Pino Insigne (Pinus radiata) y en estrato de Páramo de Ozogoche Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. *Revista* Información *tecnológica*, *25*(3), 83-92.

Catpo, J. 2000. *Determinación de la ecuación alométrica del Pinus patula y estimación de carbono en Cerro Campanario* (Tesis título), Universidad Nacional Agraria, Lima, Perú.

.

Chacon Trejo, M. (2020). *Ecuación para estimar el volumen de la raíz a partir de la Relacion R/T (Raiz/Tallo) en brinzales y latizales de especies forestales.* (Tesis título), Universidad Nacional de Ucayali, Lima, Perú.

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 doctoral) Universidad Nacional del Centro, Perú.

Chávez, G., Ángeles-Pérez, G., Pérez-Suárez, M., López-López, M. Á., García-Moya, E., & Wayson, C. (2016). Distribución de biomasa aérea en un bosque de Pinus patula bajo gestión forestal en Zacualtipán, Hidalgo, México. *Madera y bosques*, *22*(3), 23-36.

Chimbo, I. J. (2016). *Evaluación del carbono en la biomasa de dos especies forestales introducidas (Eucalyptus y Pinus) y una especie nativa (Hesperomeles ferruginea)* (Tesis de pregrado), Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador-

Connolly, R. Y. (2007). *Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua* (tesis diplomado), Universidad Nacional Agraria, Managua. Nicaragua.

Criollo, H., Belalcázar, J. M., & Burbano, T. C. L. (2020). Modelos alométricos para estimar biomasa y captura de carbono de Albizia carbonaria en la zona cafetera de Nariño. *Ciencia y Agricultura*, *17*(3), 95-110.

Cuesta, R., & del Rocío, A. V. (2018). *Análisis de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero mediante descomposición aeróbica de residuos industriales en mezcla con residuos pecuarios* (tesis magíster) Universidad Andina Simón Bolívar, Ecuador.

Cuevas, R. S., Martínez, S. A., García, J. L., & Román, D. F. (2014). Carbono orgánico de la hojarasca en los bosques de la reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, caso santuario sierra Chincua, México. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, volumen5(1), pp-29-45.

Daniela, J. M. (2020). *Generación de suelos artificiales a través del uso de estériles de carbón provenientes de la mina la primavera* (tesis título)–Universidad de Córdoba, Colombia.

De la Vega, J. A. (2015). *Modelación y estimación de la captura de carbono, en plantaciones comerciales forestales maderables, no maderables y reforestaciones, en los municipios de San José Villa de Allende y Villa Victoria, utilizando sistemas de información geográfica* (tesis doctoral), Universidad Autónoma del Estado de México, México.

Del Águila, C. (2015). *Secuestro de CO_2 y almacenamiento de carbono en plantaciones de Cedrelinga cateniformis ducke "tornillo" en tres edades diferentes en el CIEFOR-Puerto Almendra, rio Nanay, Iquitos-Perú* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de la Selva, Perú.

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.

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 prepgrado), Universidad Técnica del Norte, Ecuador.

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)*, volumen *30*(1), pp.36-47.

Figueroa-Navarro, C. M., Ángeles-Pérez, G., Velázquez-Martínez, A., & Santos-Posadas, H. M. D. L. (2010). Estimación de la biomasa en un bosque bajo manejo de Pinus patula Schltdl. et Cham. en Zacualtipán, Hidalgo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, volumen *1*(1), pp.105-112.

Garcia, D. (2014). Factores edáficos que influyen en el crecimiento de las plantaciones de" Shihuahuaco" Dipteryx odorata (Aublet Willd) de 04 años, establecido en un suelo degradado, región Ucayali.

Gayoso, J., & Guerra, J. (2005). Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque (Valdivia)*, *26*(2), 33-38.

Gómez-Díaz, 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*, volumen *17*(2), pp.261-272.

Gorbitz Dupuy, G. E. (2011). *Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea en plantaciones de 8 años de Calyophyllum spruceanum b. en el valle del Aguaytía* (Tesis Maestría) Universidad Agraria la Molina, Perú.

Guadalupe, M. (2016). *Captura de carbono en plantaciones de Pinus patula schltdl. et cham en Tonalaco* (tesis maestría), Universidad Veracruzana, México.

Guerrero Bautista, I., & Tejada Grandez, L. A. (2018). *Valoración económica del servicio ambiental de CO_2 del bosque primario del fundo Montana ubicado en el caserío Puerto Pakui del distrito de Imaza, provincia de Bagua, región Amazonas 2017.*Universidad de Lambayeque, Perú.

Hernández-Sampieri, R., Méndez, S., & Mendoza, C. P. (2018). Centro de recursos en línea de la obra Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Ciudad de México.

Hernández-Ramos, J., Santos-Posadas, H., Valdez-Lazalde, J. R., Tamarit-Urias, J. C., Ángeles-Pérez, G., Hernández-Ramos, A., ... & Carrero, O. (2017). Biomasa aérea y factores de expansión en plantaciones forestales comerciales de Eucalyptus urophylla ST Blake. *Agrociencia*, Volumen *51*(8), pp.921-938.

Herrera, G, B. E. (2019). *Proceso de degradación de atrazina en un suelo agrícola por actividad enzimática de Aspergillus niger* (tesis posgrado), Universidad Autónoma Metropolitana, México.

Labán, L. (2012). *Captura de carbono en el bosque natural de algarrobo del campus de la Universidad de Piura* (tesis doctoral). Universidad Nacional de Piura, Perú.

Lapeyre, T., Alegre, J., & Arévalo, L. (2004). Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Ecología aplicada*, volumen *3*(1-2), pp.35-44.

Leckoundzou, A. (2011). *Influencia de diferentes variables dendrometricas y calidad de árboles en pié sobre los rendimientos de madera aserrada de Pinus caribaea Morelet var. caribaea Barret y Golfari* (tesis doctoral), Universidad de Pinar del Río.

Lobos, G., Vallejos, O., Caroca, C., & Marchant, C. (2005). El mercado de los bonos de carbono ("bonos verdes"): una revisión. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, volumen *1*(1), p. 42.

López, H. G., Vaides, E. E., & Alvarado, A. (2018). Evaluación de carbono fijado en la biomasa aérea de plantaciones de teca en Chahal, Alta Verapaz, Guatemala. *Agronomía Costarricense*, volumen *42*(1), p.137-153.

López-Reyes, L. Y., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., Zavala-Cruz, J., Gómez-Guerrero, A., & Posada-Cruz, S. (2016). Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (Hevea brasiliensis Müell. Arg.) de diferentes edades. *Madera y bosques*, volumen *22*(3), pp.49-60.

Loyola Avilés, E. A. (2019). Evaluación de escenarios de mitigación del cambio climático en Chile con respecto al objetivo establecido en el acuerdo de París.

Peralta, J. E. (2011). *Efecto del ácido indolbutírico en el enraizamiento de brotes de pino colorado (Pinus oocarpa Schiede)* (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).

Maquera, M, D. (2017). *Determinación del contenido de carbono por especie forestal en el bosque del CIP Camacani* (tesis pregrado) Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

Marroquín, M. P. (2019). *Ajuste de ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea en una plantación de teca (Tectona grandis lf) en Yucatán, México* (Tesis Doctoral), Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

Medina, M. E. (2019). *Determinación de biomasa aérea y carbono en pinus patula schl. et cham en los corrales, cantón Urcuquí, provincia de Imbabura* (tesis pregrado),Universidad Técnica del Norte, Perú.

Méndez, J., Luckie-Navarrete, S. L., Capó-Arteaga, M. Á., & Nájera-Luna, J. A. (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 Guanajuato, México. *Agrociencia*, volumen *45*(4), pp.479-491.

Mendo Velásquez, M. H. (2008). *Valoración económica de los bienes y servicios ambientales del bosque granja porcon, cajamarca-Perú. 2007-2008.* (tesis pregrado) Universidad Nacional de Trujillo, Perú.

Meneses Arias, M. V. (2017). *Determinación de la captura de carbono aéreo y la influencia del manejo en plantaciones de Pinus patula Schl. et Cham* (tesis maestría). Universidad Técnica del Norte, Ecuador.

Merino Coral, J. L. (2015). *Estimación del valor de uso directo del suelo en el ámbito del Proyecto Piloto de Forestación (PPF), granja Porcón-Cajamarca.* (tesis maestría) Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú.

Meza, R. L. (2013). "Situación actual de la reforestación con sistemas agroforestales para captura de carbono, en tres comunidades de la carretera Iquitos -Nauta, Región Lo Reto"

MINAM. (2016). Evaluación de la Efectividad de un Mecanismo de Conservación Orientado a la Reforestación del Bosque de Protección Alto Mayo.

Mollocondo, T, M. N., & Aguilar Atamari, L. E. (2019). *Estimación de la captura de CO2 en plantaciones forestales de Polylepis sp, Cupressus spp y Eucaliptus globulus, para mitigar el cambio climático en el Centro de Producción San Juan de Potojani–Puno, 2018.* (tesis título) Universidad Peruana Unión, Perú.

Montero, A. O. Y. (1988). Evaluación de la calidad de las estaciones forestales. Revisión bibliográfica. *Ecología*, volumen *2*, pp.155-184.

Montoya, P, L. M. (2019). *Estimación de la actividad microbiana asociada al carbono en suelos del complejo de humedales de la quebrada Dalí.*(trabajo de grado), Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia

Oliva, M., Culqui Mirano, L., Leiva, S., Collazos, R., Salas, R., Vásquez, H. V., & Maicelo Quintana, J. L. (2017). Reserva de carbono en un sistema silvopastoril compuesto de Pinus patula y herbáceas nativas. *Scientia Agropecuaria*, Volumen *8*(2), pp.149-157.

Ospina, C., Hernández, R., Rodas, C., Urrego, J., Godoy, J., Aristizabal, F., Osorio, O., & Riaño, N. (2006). Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana: El Eucalipto (*Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden). Bogotá:Cenicafe. 52 p.

Ramírez, J. A., Zapata-Duque, C. M., León-Peláez, J. D., & González-Hernández, M. I. (2007). Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Interciencia*, volumen *32*(5), pp.303-311.

Rimarachín, 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.

Rojo, G. E., Jasso-Mata, J., Vargas-Hernández, J. J., Palma-López, D. J., & Velázquez-Martínez, A. (2005). Biomasa aérea en plantaciones comerciales de hule (*Hevea brasiliensis Müll.* Arg.) en el estado de Oaxaca, México. *Agrociencia*, volumen *39*(4), pp.449-456.

Paucar, E., & Cjuno Rojas, K. J. (2016). *Stock de carbono de la biomasa aérea y necromasa en un bosque de terraza alta presente en dos concesiones de reforestación en el sector de Santa Rita Baja, distrito de Inambari Madre de Dios.* (tesis título), Universidad Nacional Amazónica, Perú.

Pérez, M. I., & Ruíz Quezada, J. T. (2003). *Cuantificación del carbono almacenado en suelo de café (Coffea arabica L.) con sombra en la Hacienda Santa Maura,*

Jinotega, Nicaragua (Tesis Doctoral), Universidad Nacional Agraria, (UNA), Perú.

Pichardo, V., Chavéz, H., & Gallegos, A. (2008). Estimación de carbono en plantaciones forestales de Pinus douglasina, a partir de biomasa aérea. *Avances en la Investigación Científica en el CUCBA*, volumen (2), pp.115-122.

Planelles, M. (2017). Nuevo récord de concentración de CO2 en la atmósfera. Revista *El paıs*, Volumen 1(12), pp.13-16.

Quitorán, G. (2009). *Determinación del Potencial de Captura de Carbono en Cinco especies Forestales de dos Años de Edad. Cedro Nativo*. (tesis título) Universidad Nacional de San Martín, Perú.

Rodríguez-Laguna, R., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, Ó. A., Treviño-Garza, E. J., & Razo-Zárate, R. (2009). Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Ra Ximhai*, volumen *5*(3), pp. 317-327.

Sánchez, A. F. (2016). *Estimación del carbono orgánico sobre el suelo, a partir de imágenes satelitales Landsat 7 ETM+, en el bosque de ceja andina de la comunidad indígena Huangras-Achupallas-Chimborazo* (tesis pregrado), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador

Sánchez, V. I., Cabanillas Soriano, M., Miranda Leiva, A., Poma Rojas, W., Díaz Navarro, J., Terrones Hernández, F., & Bazán Zurita, H. (2006). La jalca: el ecosistema frio del noroeste peruano, fundamentos biologicos y ecologicos.

Sánchez, G. (2017). *Validez y confiabilidad del cuestionario de calidad de vida SF-36 en mujeres con Lupus, Puebla* (Doctoral dissertation, tesis Licenciatura]. México: Universidad Autónoma de Puebla).

Sandoval, A. Y. (2004). La captura de carbono en bosques: una herramienta para la gestión ambiental Acta Botanica Malacitana, volumen 34, pp. 5-18.

Sarango, G, F. A., & Tenempaguay Guncay, W. S. (2020). *Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea, necromasa (hojarasca) y en el suelo en un*

bosque de pino en la comuna Paquizhapa (provincia de Loja) (tesis pregrado). Universidad de Loja, Ecuador.

Schlegel, B., Gayoso, J., & Guerra, J. (2000). *Manual de procedimientos muestreos de biomasa forestal*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.

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* (tesis pregrado), Universidad Nacional de Loja, ecuador

Silva, H, C. E. (2012). *Evaluación de los ensayos de introducción de especies forestales y de mejoramiento genético en el departamento de Cajamarca* (tesis título), Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú.

Sosa, J. O. (2016). *Valoración económica del secuestro de CO_2 en tres tipos de bosque en el distrito del Alto Nanay*. *Loreto-Perú-2014* (tesis título), Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Perú.

Sotelo, C. M. E., Suárez Salazar, J. C., Álvarez Carrillo, F., Castro-Nuñez, A., Calderón Sistemas sostenibles de producción ganadera en el contexto amazónico - Sistemas silvopastoriles: ¿una opción viable?. *Centro Internacional de Agricultura Tropical, Volumen 4, p.24*

Soto, V. H., & Arango, J. (2017). Sistemas sostenibles de producción ganadera en el contexto amazónico Sistemas silvopastoriles:¿ una opción viable?.

Torres, O, A. J. (2020). *Propuesta de Restauración Ecológica con Reforestación en el Cerro Casitagua en la Provincia Pichincha, Cantón Quito* (tesis pregrado, Universidad Estatal Amazónica, Perú.

Vidal, J. P. (2014). Las ocho regiones naturales del Perú. *Terra Brasilis (Nova Série). Revista da Rede Brasileira de História da Geografia e Geografia Histórica*, (3).

Zúñiga, M. D. C., Cardona, W., Molineri, C., Mendivil, J., Cultid, C., Chará, A. M., & Giraldo, A. (2014). Entomofauna acuática del Parque Nacional Natural Gorgona, Pacífico colombiano, con énfasis en Ephemeroptera y Plecoptera. *Revista de Biología Tropical*, volumen *62*, pp. 221-241.

ANEXOS

Figura 13. Toma de datos de las parcelas de 100m^2

Figura 14. Mediciones de DAP con forcípula

Figura 15. Tala de árboles

Figura 16. Separación de componentes del árbol.

Figura 17. Cubicación del fuste

Figura 18. Pesado de trozas en balanza con resorte

Figura 18. Separación de componentes de los árboles de *P. patula*

Figura 19. Codificación y pesaje de muestras

Figura 20. Secado de muestras en estufa de la UNACH

Tabla 18.

Formato de campo para inventario forestal.

Especie		Coordenada X			N°. Parcela:		
					Fecha		
Altitud (m.s.n.m)		Coordenada Y			Hora		
					Edad		
N°	Especie	DAP (cm)		Ht (m)	Hc (m)	Observaciones	

DAP: Diámetro a la altura pecho, Ht, altura total (m), altura comercial (m)

Tabla 19.

Formato de laboratorio para registro de datos de biomasa**.**

Nombre:			Especie				
Hora		Fecha		Edad			
Componente	Fuste (Biomasa verde)			Ramas (Biomasa verde)			Follaje
Árbol (A)	FA1	FA2	FA3	AR1	AR2	AR3	AF1
Dia							
1							
2							
3							
4							
5							

FA1…..n: árbol A muestra del fuste del 1……n;AR1…3: Árbol A muestra de las ramas 1.,3;AF1: muestra del follaje del árbol 1

Tabla 20.

Ajuste de modelos alométricos.

Significancia estadística de modelo y parámetros										
Tipo	**N°**	**F**		**β_0**		**β_1**		**β_2**		Condición
		F calculado	**Significancia**	**T calculado**	**Significancia**	**T calculado**	**Significancia**	**T calculado**	**Significancia**	
Lineal	1	196.27	2.236e-06 ***	-8.537	6.01e-05 ***	14.01	2.24e-06 ***			Aceptado
	2	59.791	0.0001132 ***	46.82	3.91e-06 ***	-7.732	0.000113 ***			Aceptado
	3	83.493	3.865e-05 ***	-5.936	0.000578 ***	9.137	3.86e-05 ***			Aceptado
	4	93.467	2.672e-05 ***	5.893	3.44e-07 ***	-44.7699	2.67e-05 ***			Aceptado
	5	152.96	5.191e-06 ***	-10.58	1.47e-05 ***	12.37	5.19e-06 ***			Aceptado
	6	63.502	9.345e-05 ***	-0.414	0.691	7.969	9.35e-05 ***			Rechazado - Parámetro no significativo
	7									No ajustado
	8	311.99	4.595e-07 ***	1.982	0.0879 .	17.663	4.6e-07 ***			Rechazado - Parámetro no significativo
	9	85.534	3.572e-05 ***	14.406	1.85e-06 ***	9.248	3.57e-05 ***			Aceptado
	10	504.93	8.747e-08 ***	-12.46	4.93e-06 ***	22.47	8.75e-08 ***			Aceptado
Múltiples	11			-1.133	0.301	0.867	0.419	0.16	0.878	Rechazado - Parámetro no significativo
	12			-6.149	0.000848 ***	5.066	0.002297 **	5.476	0.001549 **	Aceptado
	13									No ajustado
	14									No ajustado
No lineales	15			1.296	0.236	9.814	2.42e-05 ***			Rechazado - Parámetro no significativo
	16									Rechazado - Ajustado, pero sin sintaxis
	17			1.969	0.0897 .	13.527	2.84e-06 ***			Rechazado - Parámetro no significativo
	18			1.797	0.122413	6.623	0.000571 ***	2.845	0.029386 *	Rechazado - Parámetro no significativo
	19			-5.477	0.000929 ***	9.814	2.42e-05 ***			Aceptado
	20									Rechazado - Ajustado, pero sin sintaxis

Tabla 21.

Ajuste de indicadores estadísticos para estimación de biomasa.

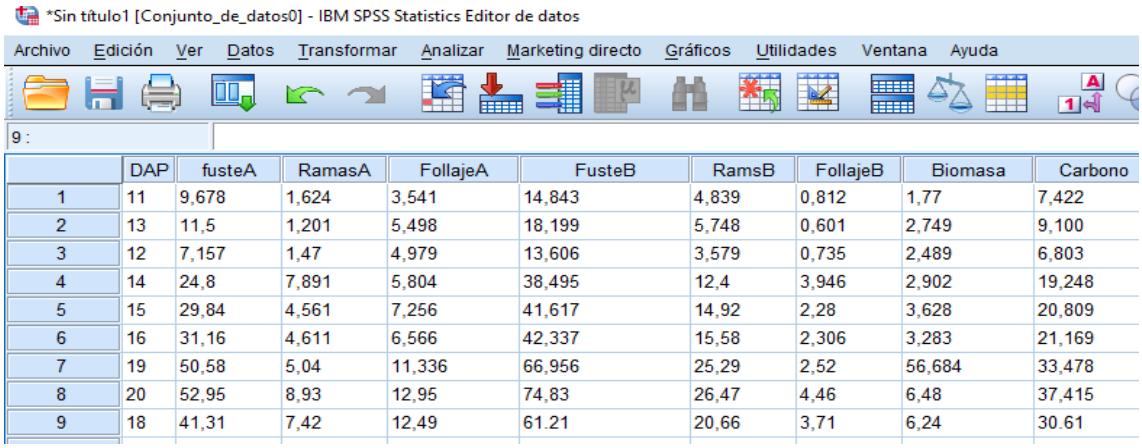
N°/ Nombre	Condición	Indicadores estadísticos					
		R^2	r^2ajus	RECM	E	Sxy	AIC
1	Aceptado	0.9656	0.9606	2.2697	0.0016	6.0051	11.4251
2	Aceptado	0.8952	0.8802	3.9601	0.0005	10.4775	15.7764
3	Aceptado	0.9356	0.9264	3.1038	0.0294	8.2118	13.8717
4	Aceptado	0.9613	0.9558	2.4064	0.1371	6.3668	11.8824
5	Aceptado	0.9562	0.9500	2.5585	-0.0017	6.7692	12.3615
6	Rechazado - Parámetro no significativo	0.8936	0.8785	3.9887	-0.0195	10.5530	15.8326
7	No ajustado						
8	Rechazado - Parámetro no significativo	0.9781	0.9749	1.8119	0.0016	4.7939	9.6642
9	Aceptado	0.8954	0.8804	3.9566	-0.0973	10.4681	15.7694
10	Aceptado	0.9794	0.9764	1.7572	0.0338	4.6492	9.4246
11	Rechazado - Parámetro no significativo	0.9657	0.9543	2.4464	-0.0017	5.9923	13.4085
12	Aceptado	0.9759	0.9678	2.0525	0.0571	5.0277	12.0364
13	No ajustado						
14	No ajustado						
15	Rechazado - Parámetro no significativo	0.9522	0.9454	2.6740	-0.1284	7.0746	12.7065
16	Rechazado - Ajustado, pero sin sintaxis						
17	Rechazado - Parámetro no significativo	0.9794	0.9765	1.7544	-0.0051	4.6418	9.4122
18	Rechazado - Parámetro no significativo	0.9812	0.9750	1.8097	-0.0373	4.4329	11.0522
19	Aceptado	0.9522	0.9454	2.6740	-0.1284	7.0746	12.7065
20	Rechazado - Ajustado, pero sin sintaxis						

Tabla 22.

Ajuste de los valores de parámetros de la CC.

N°/ Nombre	**β_0**	**β_1**	**β_2**
1	-33.8377	3.5551	
2	46.8200	-5480.9400	
3	-5.3406	3.0246	
4	5.8930	-44.7699	
5	-124.9090	53.7030	
6	-0.1599	0.1969	
7			
8	2.3766	0.0084	
9	1.84	4.67E-04	
10	-1.56191	0.86431	
11	-29.68937	3.00154	0.01778
12	-3.33	1.55	0.9678
13			
14			
15	0.0146	2.63121	
16			
17	0.02951	0.85517	
18	0.02482	1.90901	0.68111
19	-4.2266	2.6312	

Procesamiento de la información en el programa SPPS



	DAP	fusteA	RamasA	FollajeA	FusteB	RamsB	FollajeB	Biomasa	Carbono
1	11	9,678	1,624	3,541	14,843	4,839	0,812	1,77	7,422
2	13	11,5	1,201	5,498	18,199	5,748	0,601	2,749	9,100
3	12	7,157	1,47	4,979	13,606	3,579	0,735	2,489	6,803
4	14	24,8	7,891	5,804	38,495	12,4	3,946	2,902	19,248
5	15	29,84	4,561	7,256	41,617	14,92	2,28	3,628	20,809
6	16	31,16	4,611	6,566	42,337	15,58	2,306	3,283	21,169
7	19	50,58	5,04	11,336	66,956	25,29	2,52	56,684	33,478
8	20	52,95	8,93	12,95	74,83	26,47	4,46	6,48	37,415
9	18	41,31	7,42	12,49	61.21	20,66	3,71	6,24	30.61

Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
BS	Se basa en la media	2,732	2	6	,143
	Se basa en la mediana	,448	2	6	,659
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,448	2	3,425	,672
	Se basa en la media recortada	2,431	2	6	,169

Pruebas de normalidad

		Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Edad	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
BS	5	,209	3	.	,991	3	,823
	10	,311	3	.	,898	3	,378
	15	,312	3	.	,895	3	,370