

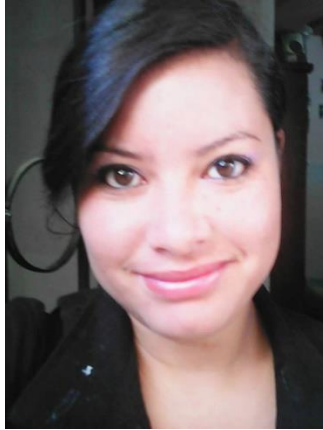
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

1. **TÍTULO:** DETERMINACIÓN DE BIOMASA AÉREA Y CARBONO EN *Pinus patula* Schl. et Cham EN LOS CORRALES, CANTÓN URCUQUÍ, PROVINCIA DE IMBABURA
2. **AUTOR:** Mirian Elizabeth Medina Salazar
3. **DIRECTOR:** Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.
4. **COMITÉ LECTOR:** Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, MSc.
Ing. Hugo Vinicio Vallejos Álvarez, MSc.
Ing. Jorge Luis Ramírez López, MSc.
5. **AÑO:** 2019
6. **LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN:** El estudio se realizó en Los Corrales, parroquia Urcuquí, cantón San Miguel de Urcuquí, ubicado a 10 km de la cabecera cantonal, provincia de Imbabura, se encuentra a 78° 16' 18,08" de longitud W, 0° 26' 52,78" de latitud N, a 3544 m.s.n.m.
7. **BENEFICIARIOS:** NOVOPAN, MAG, Comunidad Universitaria

HOJA DE VIDA DEL INVESTIGADOR



APELLIDOS: Medina Salazar

NOMBRES: Mirian Elizabeth

C. CIUDADANIA: 1003851571

TELÉFONO CONVENCIONAL: (062) 635 – 386

TELÉFONO CELULAR: 0978705319

CORREO ELECTRÓNICO: miry_ely91@hotmail.com

DIRECCIÓN: Imbabura – Otavalo – Calpaquí Espejo

AÑO: 2019

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA - UTN

Fecha: 08 de abril del 2019

Mirian Elizabeth Medina Salazar: **DETERMINACIÓN DE BIOMASA AÉREA Y CARBONO EN *Pinus patula* Schl. et Cham EN LOS CORRALES, CANTÓN URUCUQUÍ, PROVINCIA DE IMBABURA** /Trabajo de titulación. Ingeniera Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 08 de abril del 2019. 85 páginas.

DIRECTORA: Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.

El objetivo principal de la presente investigación fue:

- Determinar la biomasa aérea y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham en los Corrales, cantón Urcuquí, provincia de Imbabura.

Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Calcular la biomasa área y carbono de la plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham.
- Seleccionar el modelo alométrico con mejor ajuste para *Pinus patula* Schl. et Cham.

Fecha: 08 de abril del 2019



Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.
Directora de trabajo de titulación



Mirian Elizabeth Medina Salazar

Autora

vi

DETERMINACIÓN DE BIOMASA AÉREA Y CARBONO EN *Pinus patula* Schl. et Cham EN LOS CORRALES, CANTÓN URCUQUÍ, PROVINCIA DE IMBABURA

Autora: Mirian Elizabeth Medina Salazar

Directora del trabajo de titulación: Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.

Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales

Carrera de Ingeniería Forestal

Universidad Técnica del Norte

Ibarra – Ecuador

miry_ely91@hotmail.com

Teléfono: (062) 635 – 386/0978705319

RESUMEN

El Cambio Climático se entiende como la alteración del clima atribuida directa o indirectamente a la actividad humana, así también considerando que en el mundo se viene desarrollando un creciente mercado internacional de bonos de carbono que no se encuentran ampliamente difundido, y para acceder al mismo, es necesario conocer la capacidad que tienen los ecosistemas en almacenar carbono. En el presente estudio se construyeron modelos alométricos que permitieron estimar de manera confiable, la biomasa y carbono aéreo de *Pinus patula* Schl. et Cham en función de las variables dasométricas (dap y altura) y seleccionar el modelo alométrico con mejor ajuste para dicha especie. Se realizó dos conglomerados de 50 x100 m en el cual se hizo un censo forestal y se estimó la biomasa mediante la relación entre el peso fresco y el porcentaje de materia seca por componente (hojas, ramas y fuste). Se realizó la construcción de modelos alométricos para biomasa y contenido de carbono aéreo, con las variables dap y ht, posterior de la exploración gráfica de las correlaciones y regresiones existentes entre la biomasa vs los valores obtenidos y transformados. Los modelos alométricos construidos fueron $B = 1/(0,0098 + 1,140 * 10^{-10} e^{ht} - 0,010 * dap^2 - 2,622 * 10^{-5} ht^2 + 5,361 * 10^{-5} * dap^2 * ht^2)$ con un R^2 de 0,897 y $C = 1/(0,047 - 8,614 * 10^{-5} ht^2 - 0,111 / \ln(dap^2 + ht^2) + 5,148 * 10^{-10} e^{ht})$ con un R^2 de 0,92 Para la estimación del contenido de carbono se utilizó el factor de conversión estándar de material vegetal a contenido de carbono de 0,5 establecido por el IPCC. Los resultados obtenidos fueron para biomasa total de 98,09 tn/ha y 47,47 tn/ha de contenido de carbono.

ABSTRACT

Climate Change is understood as the alteration of the climate attributed directly or indirectly to human activity, also considering that in the world there is a growing international market of carbon bonds that are not widely spread, and to access it, It is necessary to know the capacity that ecosystems have in storing carbon. In this present study it is proposed to construct allometric models that allow to reliably estimate the biomass and aerial carbon of *Pinus patula* Schl. et Cham depending on the dasometric variables (diameter and height) and select the allometric model with best fit for said species. Two conglomerates of 50 x 100 m were made in which a forest census was made and the biomass was estimated by the relationship between fresh weight and the percentage of dry matter per component (leaves, branches and stem). The construction of allometric models for biomass and air carbon content was carried out, with the variables DAP and HT, posterior of the graphic exploration of the correlations and existing regressions between the biomass vs the values obtained and transformed. The allometric models constructed were $B = 1 / (0,0098 + 1140 * 10^{-10} e^{ht} - 0,010 * dap^2 - 2,622 * 10^{-5} ht^2 + 5,361 * 10^{-5} * dap^2 * ht^2)$ with an R^2 of 0,897 and $C = 1 / (0,047 - 8,614 * 10^{-5} ht^2 - 0,111 / \ln (dap^2 + ht^2) + 5,148 * 10^{-10} eht)$ with an R^2 of 0,92 For the estimation of the carbon content, the standard conversion factor of plant material to the content of 0,5 carbon established by the IPCC. The results obtained were for total biomass of 98,09 tn / ha and 47,47 tn / ha of carbon content.

INTRODUCCIÓN

El Cambio Climático se entiende como la alteración del clima atribuida directa o indirectamente a la actividad humana. Esto modifica la composición de la atmósfera e incrementa la variabilidad del clima (IPCC, 2014). Todos los países se encuentran preocupados ante las consecuencias del fenómeno, debido al incremento de las emisiones de gases producto de la combustión de fósiles (Rodríguez y Mance, 2009).

Así también considerando que en el mundo se viene desarrollando un creciente mercado internacional de bonos de carbono que no se encuentran ampliamente difundido, y para acceder al mismo, es necesario conocer la capacidad que tienen los ecosistemas en almacenar carbono; existen varias metodologías, una de ellas se desarrolla a través de un estimador de biomasa mediante uso de ecuaciones para cuantificar el carbono.

Existen ecuaciones alométricas generales para estimar la biomasa, sin embargo, no se puede generalizar su uso debido al crecimiento de las especies, y por ende en su concentración: biomasa, turno

biológico, tecnológico y de investigación que dependen de las condiciones edafoclimáticas, cronológicas y de manejo de las plantaciones forestales. Con base a lo mencionado no se puede generalizar el uso de las ecuaciones sin una previa validación de las mismas, razón por la cual es necesario construir ecuaciones para cada especie, zona y ecotipo.

La especie introducida de *Pinus patula* Schl. et Cham presenta un alto valor comercial y está incluida en el listado priorizado del Programa de Incentivos para la Reforestación con Fines Comerciales (PIF) (MAGAP, 2015). La Corporación Financiera Nacional (CFN) es la entidad que entrega los incentivos a los beneficiarios del PIF, no obstante, la CFN puede otorgar créditos para reforestar con otras especies que no estén incluidas en el PIF; en este contexto, se puede tener plantaciones con doble fin, la producción de madera, el secuestro y almacenamiento de carbono como alternativa económica.

En el presente estudio se propone construir modelos alométricos que permitan estimar de manera confiable, la

biomasa aérea de *Pinus patula* Schl. et Cham en función de las variables dasométricas (DAP, Db y Altura), con la finalidad de cuantificar el carbono secuestrado que se considera un servicio ambiental como; alternativa de manejo de los recursos naturales encaminado al desarrollo sustentable de las plantaciones forestales de esta especie.

METODOLOGÍA

Se realizó el trazó de dos conglomerados (C1 y C2) de 50 x 100 m; con brújula en dirección sureste, y dentro de este se procedió a medir la biomasa aérea de ramas, fuste y hojas de los árboles; así como también del detritus.

Las parcelas fueron de 30 m x 30 m, en donde se midieron todos los árboles en pie y mayores de 10 cm de DAP.

La primera parcela anidada consiste en dos cuadrados de 50x50 cm., que se ubicaron en la esquina sureste y otra en el noroeste de la parcela principal. En esta parcela se registró el peso de la hojarasca y detritus no vivo menor de 5 cm de diámetro, para lo cual se procedió a recolectar la materia superficial que se encuentre en una capa de 5cm de espesor.

Medición de parámetros dasométricos

Se midió la altura total de los árboles, esto se lo realizó con el Clinómetro se Suunto.

El diámetro de los árboles se midió a 1,30 m (DAP) y a 30 cm (Db) de la base del fuste, con cinta métrica. Una vez cortados los árboles, sobre el suelo se midió con una cinta métrica la longitud total del fuste.

Se calculó el volumen, IMA, biomasa y carbono aéreo.

Para el cálculo de la biomasa se usó la metodología propuesta por Andrade y Segura (2008):

Los componentes estudiados fueron: fuste, ramas, hojas y detritus, y para pesar éstos componente se realizó el siguiente procedimiento:

Se dividió el fuste y las ramas en secciones de 1 y 0,50

Se pesó la totalidad del árbol para cada componente.

Se tomó una muestra de 500 g en estado húmedo de cada uno de los componentes.

Las muestras se secaron al horno a 60 °C durante 72 horas para posteriormente pesar.

Se calculó la materia seca con la siguiente ecuación para cada componente del árbol, donde el porcentaje de materia seca es igual al peso de la materia seca por el peso de la muestra verde:

$$\%MS = Sm * Vm/100$$

La biomasa para cada componente se calculó con la siguiente ecuación, donde la biomasa es igual al peso fresco por la materia seca:

$$B = \frac{Pf * Ms}{100}$$

Para determinar el peso de la biomasa aérea total se sumó los resultados de los componentes.

Para la estimación del CC se indica que el factor de conversión estándar de material vegetal a contenido de carbono es de 0.5, determinando que del 100% de biomasa seca es 50% de CC (IPCC, 2003)

Obtención del modelo alométrico con mejor ajuste para *Pinus patula* Schl. et Cham.

Para la obtención de la ecuación alométrica se utilizó los programas InfoStat 2015 (e), e IBM SPSS Statistics 20, con los que se determinó la ecuación con el mejor ajuste a la regresión.

Para seleccionar los mejores modelos alométricos se utilizó la metodología propuesta por Andrade y Segura (2008), que a continuación se indica. Para el procesamiento de los datos se usó los programas estadísticos InfoStat versión 2015 e IBM SPSS Statistics 20.

Se organizaron los datos de cada individuo en una fila, detallando en las columnas las variables independientes (dap, db y ht) y dependiente biomasa total. Luego se graficaron la biomasa total frente a cada variable independiente para ver las tendencias de los datos y probar diferentes modelos.

Selección de los mejores modelos

Se evaluaron los modelos con los mecanismos estadísticos:

- Coeficiente de determinación (R^2).

- Coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado).
- Error estándar de la estimación (RCME).
- Criterio de información akaike (AIC), proporcionados por los programas estadísticos InfoStat versión 2015 e IBM SPSS Statistics 20.
- Porcentaje de observados versus estimados en función de los errores de estimación.
- Sumatoria de desviaciones de estimación.
- Coeficiente de determinación (R^2) porcentaje de observados versus estimados.

Posteriormente se escogió a los 10 mejores modelos y se los seleccionó de acuerdo a cada mecanismo estadístico de evaluación, con énfasis en la comparación de observado vs estimados y en la regresión resultante de la misma.

RESULTADOS

Inventario forestal

En la Tabla 1 se presenta los resultados del análisis estadístico de las variables de medición directa (dap y ht) y calculadas (AB y volumen) del censo forestal por conglomerado menor a una hectárea, además se empleó una intensidad de muestreo del 15%.

Al realizar el análisis estadístico del censo forestal se observó que para las variables de medición directa (dap y ht) del conglomerado uno, los valores son relativamente homogéneos y la medias obtenidas son representativas del conjunto de datos; por otro lado, en las variables calculadas para el conglomerado dos, se registra heterogeneidad; sin embargo, las medias son representativas de los datos analizados; esto es debido a que el terreno donde se encontraba el conglomerado dos presentaba una pendiente del 40%, por lo tanto existía menor número de árboles ya que había mayor mortalidad de los mismos probablemente debido a que las raíces de las coníferas son fasciculadas y no tienen un buen sostén mecánico ante pendientes

(Costa y Plumed, 2013). Andrade y Segura (2008) manifiestan que si los datos muestran heterogeneidad entre ellos pueden afectar al modelo tanto en forma como en estructura.

Tabla 1

Estimadores estadísticos del censo forestal

Estimador	CONGLOMERADO 1				CONGLOMERADO 2			
	DAP (m)	HT (m)	AB/árbol (m ²)	V/árb (m ³)	DAP (m)	HT (m)	AB/árb (m ²)	V/árb (m ³)
Media	0,28	9,82	0,06	0,423	0,28	9,51	0,06	0,41
Mín	0,04	3,2	0,001	0,01	0,11	6,3	0,01	0,05
Máx	0,48	16	0,18	1,35	0,45	13,5	0,16	1,1
Varianza	0,01	0,59	0,001	0,05	0,01	0,8	0,001	0,06
Desviación estándar de la media	0,07	0,77	0,03	0,22	0,08	0,89	0,03	0,24
Error estándar de la media	0,004	0,04	0,002	0,01	0,01	0,06	0,002	0,02
Coefficiente de variación	26,37	7,89	48,03	50,17	27,13	9,43	49,75	52,77

Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar

Acti

Arteaga (2003) en condiciones diferentes de temperatura, altitud y precipitación a las observadas en Los Corrales-Urcuquí, registró para *Pinus patula* un incremento medio anual (IMA) en HT similar a los registrados en el sitio de estudio, a los 14,6 años; debido a que los árboles tienden a elongarse en busca de la luz; sin embargo, en edades superiores, los mismos autores, observaron que el IMA es menor, debido a la desaceleración del crecimiento por alcanzar la etapa de madurez de los individuos.

El IMA de AB y volumen, registra valores superiores en Los Corrales-Urcuquí en relación a García y otros (2015) y Montoya (2017), este incremento se debe al mayor número de

árboles por hectárea, cabe mencionar que además, se observó evidencias de movimientos en masa en vista que los árboles presentaron una curvatura que se asocia a este tipo de movimiento denominado reptación (Crozier, 1999; Glade y Crozier, 2005) (Tabla 2).

La Tabla 2 muestra los resultados promedios, IMA de DAP, HT, AB y volumen en diferentes estudios.

Tabla 2

Crecimiento de *Pinus patula* y *Pinus tecunumanii*, en diferentes estudios

Especie	Promedio		IMA		Total/ha		IMA		Árb/ha	Edad	Fuente
	DAP (cm)	HT (m)	DAP (cm)	HT (cm)	AB (m ²)	V(m ³)	AB (m ²)	V(m ³)			
<i>Pinus patula</i>	28,00	9,67	1,40	0,48	37,32	254,65	1,87	12,73	602	20	Este estudio
<i>Pinus patula</i>	10,78	6,54	0,74	0,45	9,21	323,97	0,63	22,19	976	14,60	Arteaga (2003)
<i>Pinus patula</i>	17,28	17,21	1,00	1,00	25,95	190,41	1,50	11,02	100	17,30	García et al. (2015)
<i>Pinus patula</i>	18,79	18,90	0,93	0,93	28,99	219,57	1,43	10,81	126	20,30	
<i>Pinus tecunumanii</i>	40,60	21,00	1,40	0,72	13,79	124,24	0,48	4,28	104	29	Montoya (2017)
<i>Pinus tecunumanii</i>	27,50	17,90	1,22	0,80	9,10	115,55	0,40	5,14	306	20-25	

Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar

Agri

Vol. 11

Biomasa aérea por componente (ramas, hojas y fuste)

La biomasa aérea de cada uno de los componentes del árbol se presenta en la Tabla 3; cabe recalcar que el detritus fue de 10.68 tn/ha.

Castellanos (2010) y Figueroa-Navarro y otros (2010) en Zacualtipán, Hidalgo y Chignahuapán, Puebla, respectivamente, a los 25 años de edad de la plantación obtuvieron valores inferiores en los componentes de follaje y ramas a los de la presente investigación, mientras que para el componente fuste obtuvieron

mayor, debido a que la plantación probablemente tuvo un manejo silvicultural, por lo cual la concentración de biomasa fue mayor en el fuste que en los otros componentes.

Navar y otros (2001) en Durango, México a una temperatura de 11,7 °C y precipitación anual de 1200 mm, obtuvieron valores casi similares en cada componente (ramas, follaje y fuste), debido a que la plantación se encontraba en un bosque natural, además que las acículas de *P. duraguensis* son de similar longitud (14 a 30 cm) y tiene una copa de forma cónica.

Tabla 3

Porcentaje de Biomasa aérea por componente

Componente	Este estudio (%)	Castellanos (1996) (%)	Figueroa-Navarro y otros. (2010) (%)	Navar y otros (2001) (%)	
Especie	<i>P. patula</i>	<i>P. patula</i>	<i>P. patula</i>	<i>P. duraguensis</i>	<i>P. cooperi</i> B
Follaje	15,51	2,80	4,49	13,50	10,60
Ramas	19,66	8,70	9,21	22,50	22,40
Fuste	64,83	72,20	86,29	64,00	67,00
Edad (años)	20	16	25	14	18

Biomasa aérea de la plantación

La biomasa aérea de la plantación se presenta en la Tabla 4; donde se observa que la biomasa aérea fue de 98,09 tn/ha.

Alberto y Elvir (2008) en los municipios de Cabañas, Opatoro y Santa Ana (Honduras) en bosques nativos, con una precipitación anual de 1804 mm, temperatura medio anual de 20 °C, a los 37 años de edad, obtuvieron valores de biomasa aérea menores para *Pinus oocarpa*, a los obtenidos en la presente

investigación debido a que registraron un número menor de árboles, AB y volumen por unidad de superficie, el cual es el factor determinante en la cantidad de biomasa.

Montoya (2017) en la Estación experimental "La Favorita" en condiciones distintas de temperatura, altitud y precipitación que Los Corrales-Urcuquí registró valores de biomasa aérea, similares para *Pinus tecunumanii*, debido probablemente a que en la plantación se realizaron raleos y presentó alta mortalidad, cabe mencionar que la morfología de la especie es similar.

Francis Justine y otros (2015) en Gao-Sichuan con una precipitación de 1021 mm, temperatura de 18.1 °C, a los 19 años de edad, obtuvieron valores similares, probablemente debido a las características morfológicas de la especie, ya que las acículas de *Pinus massoniana* son mucho más pequeñas (1,5-2 cm) y por ende existe menor biomasa foliar que *Pinus patula*.

Tabla 4

Biomasa de las plantaciones

Especie	Edad (años)	Número de individuos	Biomasa aérea (tn/ha)	Sitio de estudio	Fuente
<i>Pinus patula</i>	20	602	98,09	Los Corrales-Urcuquí	Este estudio
	37	301	57,13	Bosque denso las Cabañas (Honduras)	
	36	112,40	25,14	Bosque ralo las Cabañas (Honduras)	
<i>Pinus oocarpa</i>	47,7	258,20	112,09	Bosque denso Opatoro (Honduras)	Alberto y Elvir (2008)
	40	320,40	105,49	Bosque denso Santa Ana (Honduras)	
<i>Pinus tecunumanii</i>	29	104	95,75	Estación experimental "La Favorita"	Montoya (2017)
<i>P. massoniana</i>	19	1800	98,28	Gao-Sichuan	Francis Justine y otros (2015)

Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar

Activo We a Cc

Carbono secuestrado por componente (ramas, hojas y fuste)

El contenido de carbono aérea total para cada uno de los componentes (ramas, hojas y fuste) del árbol se presenta en la Tabla 5; cabe recalcar que el detritus fue de 5,34 tn/ha.

Pinazo y otros (2007) y Lima y otros (2016) en la localidad de Wanda, departamento de Puerto Iguazú, provincia de Misiones, con una temperatura media anual de 21°C, con precipitaciones de 2000 mm, en *P. taeda L.*, obtuvieron valores para CC en los componente follaje y ramas es menor, a causa de que tienen de dos a tres acículas agrupadas por fascículo y un largo de 12 a 22 cm, por lo tanto existe menor captación de carbono, en cuanto al CC en el fuste es mayor, debido a que la plantación tuvo un raleo previo y raleos cada cuatro años.

Zhao y otros (2014) y Vachnadze y otros (2016) en *P. tabulaeformis* y *P. sosnovskyi* respectivamente, obtuvieron valores similares al de la presente investigación esto se puede deber a que las ramas poseen mayor número de acículas por fascículo con un espesor de 1.5 cm por acículas.

Tabla 5

Porcentaje de Contenido de carbono aéreo por componente

Componente	Este estudio (%)	Pinazo y otros (2007) (%)	Zhao y otros (2014) (%)	Vachnadze y otros (2016) (%)	Lima y otros (2016) (%)
Especie	<i>P. patula</i>	<i>P. taeda L.</i>	<i>P. tabulaeformis</i>	<i>P. sosnovskyi</i>	<i>P. caribaea</i>
Follaje	15,51	2,84	18,50	10,33	4,73
Ramas	19,66	15,86	25,20	27,96	13,46
Fuste	64,83	81,30	56,30	61,71	81,81
Edad (años)	20	20	30	31	10

Carbono secuestrado en plantaciones

El contenido de carbono aérea total de la plantación se presenta en la Tabla 6.

Alberto y Elvir (2008) en bosques densos y ralos de *P. oocarpa* en las Cabañas (Honduras) obtuvieron valores de CC aéreo inferiores a la de Los Corrales-Urcuquí para *P. patula*, por el contrario en bosques densos en Opatoro y Santa Ana (Honduras) registraron mayor carbono aéreo debido, probablemente, a la influencia de la edad y número de árboles, así como a las características intrínsecas de la especie; cabe recalcar que para *P. patula* presentaron un menor crecimiento en dap y altura, debido a que la plantación no ha sido manejada silviculturalmente (Tabla 6).

Montoya (2017) obtuvo valores similares a los de la presente investigación en vista de, que las condiciones de la estación La Favorita favorecieron al crecimiento de *P.*

tecunumanii, además que la plantación tuvo raleos. Por otra parte, Pinazo y otros (2007) obtuvieron CC aéreo superiores, esto se debe a que en la plantación de *P. taeda* se realizaron raleos cada cuatro años y las condiciones del sitio eran óptimas para el crecimiento de la especie.

Tabla 6

Contenido de carbono de las plantaciones

Especie	Edad (años)	Número de individuos	Carbono aéreo(m ³ /ha)	Sitio de estudio	Fuente
<i>Pinus patula</i>	20	602	47,47	Los Corrales-Urcuqui	Este estudio
	37	301	29,59	Bosque denso las cabañas	
	36	112,4	13	Bosque ralo las cabañas	
<i>Pinus oocarpa</i>	47,7	258,2	58,06	Bosque denso Opatoro	Alberto y Elvira (2008)
	40	320,4	54,65	Bosque denso Santa Ana	
<i>Pinus tecunumanii</i>	29	104	47,88	Estación experimental "La Favorita"	Montoya (2017)
<i>Pinus taeda</i>	20	711	153	Wanda, Puerto Iguazú, Argentina	Pinazo y otros (2007)

Elaborado por: Miriam Elizabeth Medina Salazar

Activar

Construcción de modelos alométricos

Modelos alométricos para biomasa aérea

En la Tabla 7 se muestra el modelo alométrico generado para biomasa aérea, con las variables dap y ht transformadas, mediante los análisis del ADEVA, se obtuvieron coeficientes de correlación de 0,947 y coeficientes R² de 0,897 para *Pinus patula*. Así mismo se presenta la comparación en porcentaje de los valores observados versus los valores estimados considerando el error de estimación de cada ecuación que fue para el modelo

seleccionado de 91,67 % para *Pinus patula*.

Para estimar la biomasa aérea se consideró la relación entre las variables dap y ht, debido a que éstas son de medición directa y permiten realizar mejores estimaciones. El modelo construido para *Pinus patula* mostró un R² inferior al calculado por otros autores (Tabla 7). Al comparar las estimaciones con el modelo construido vs los modelos citados, se demuestra que existe una mejor estimación (Figura 3); debido a que se realizan sobre estimaciones y sub estimaciones de la biomasa por individuo.

Al aplicar las ecuaciones de los diferentes autores con los datos obtenidos en el campo se obtuvo un valor estimado de biomasa total de 11,78 kg por individuo, al comparar la biomasa producto de las ecuaciones se evidenció que se tiende a realizar sobrestimaciones, debido a que los modelos de los autores citados no se ajustan a la regresión con los datos observados, ya que las condiciones climáticas y de crecimiento son disimiles, por tal razón el modelo construido en la presente investigación presenta menores errores de estimación, mayor ajuste a la

regresión, por lo tanto para la plantación estudiada tiende a ser más precisa en cuanto a la estimación.

Al comparar los coeficientes R^2 entre los valores observados vs valores estimados del modelo construido, se tiene un mejor ajuste a la recta de regresión que con los modelos de los otros autores; siendo el modelo más aceptable el de la presente investigación.

Tabla 7

Modelos alométricos de biomasa aérea para *Pinus patula*

Especie	Modelo	R ²	ΣBT-BTest(kg)	Fuente
<i>Pinus patula</i>	$B = 11(0,098 + 1,140 \cdot 10^{-10} \cdot ht^{10} - 0,010 \cdot dap^2) - 2,622 \cdot 10^5 \cdot ht^2 + 3,361 \cdot 10^5 \cdot dap^2 \cdot ht^2$	0,897	11,78	Este estudio
<i>Pinus patula</i>	$B = 0,0357 \cdot DAP^{0,918}$	0,98	3799,27	Díaz et al. (2007)
<i>Pinus patula</i>	$B = 5,338 + 0,018635 \cdot DAP^2 \cdot HT$	0,97	4548,40	Figueroa et al. (2010)
<i>Pinus patula</i>	$B = 0,001917(DN \cdot AT)^{0,71219}$	0,87	2617,59	Rodríguez et al. (2009)

B= biomasa aérea, DAP= diámetro a la altura del pecho, HT= altura total, g^{ht}= exponente de altura total.

Elaborado por: Míriam Elizabeth Medina Salazar

Activar

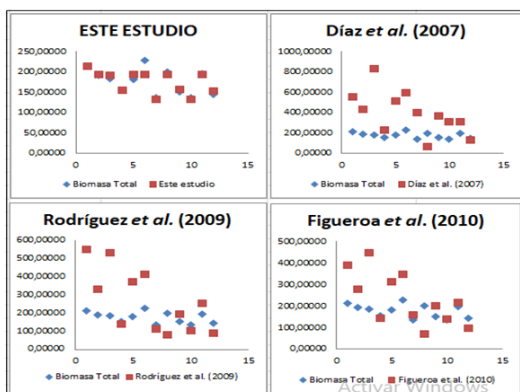


Figura 3. Biomasa aérea observada vs Biomasa aérea estimada por árbol - *Pinus patula*

Modelos alométricos contenido para carbono

En la Tabla 8 se muestra los modelos alométricos construidos para CC con las variables dap y ht transformados, mediante los análisis del ADEVA, se obtuvieron

coeficientes de correlación de 0,96 y coeficientes R^2 de 0,92 para *Pinus patula*. Así mismo se presenta la comparación en porcentaje de los valores observados vs los valores estimados considerando el error de estimación de cada ecuación que fue para el modelo seleccionado de 83,33 % para *Pinus patula*.

Para estimar CC se considera la variable ht. Los modelos construidos por los autores citados en la Tabla 8 registraron coeficientes R2 de 0,98 y 0,32; disimiles al obtenido para *Pinus patula* de 0,922. Al comparar las estimaciones con el modelo construido vs los modelos citados, se demuestra que existe una mejor estimación de los valores con el modelo construido (Figura 4); debido a que se realizan mínimas sub estimaciones del CC por individuo.

Al sumar las desviaciones del CC estimado del modelo de *Pinus patula* con respecto a los valores observados se obtuvo un valor de 3,55 kg; es decir, en los errores de estimación existe una mínima subestimación muy inferior a las registradas con los autores citados. Por el contrario, al aplicar los modelos citados, se tiende a sub estimar la cantidad de

biomasa; por lo tanto, los valores de las desviaciones son superiores, siendo el modelo de mejor ajuste el de la investigación realizada.

Al comparar los coeficientes R^2 entre los valores observados vs valores estimados del modelo construido, se tiene un mejor ajuste a la recta de regresión que con los modelos de los otros autores; siendo el modelo más aceptable el de la presente investigación.

En la Tabla 8 se muestran los modelos alométricos de CC para pino en donde el modelo de mejor ajuste es para *Pinus patula* de este estudio.

Tabla 8

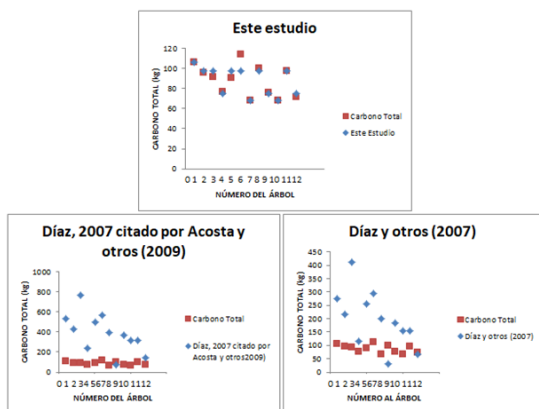
Modelos alométricos para predecir contenido de carbono - *Pinus patula*

Especie	Modelo	R ²	Σ BT-B Est (kg)	Fuente
<i>Pinus patula</i>	$C = 11(0,047 - 8,614 \times 10^{-10}ht^2 - 0,111 \ln(dap^2 - ht^2) - 5,148 \times 10^{-10}e^h)$	0,92	3,55	Este estudio
<i>Pinus patula</i>	$C = 0,021 * dap^{2421}$	0,98	1924,81	Díaz y otros (2007)
<i>Pinus patula</i>	$C = 0,0948 * dap^{2473}$	0,32	-683,07	Díaz, 2007 citado por Acosta y otros, (2009)

C= contenido de carbono, dap= diámetro a la altura del pecho, ht= logaritmo natural, e= exponente

Elaborado por: Míriam Elizabeth Medina Salazar

Activar Win
Ver a Continuación



CONCLUSIONES

La biomasa aérea y el carbono almacenado por la plantación estudiada se concentra principalmente en el fuste. Pese a esto, el aporte de ramas y acículas es considerable, aportando cerca del 35 % del total. Cabe señalar que la estructura y cantidad de las acículas generó que el carbono secuestrado sea similar al de las ramas. Esta misma distribución generó que el aporte de detritus sea considerable, producto de la cantidad de follaje muerto que cae sobre el suelo y su lento proceso de descomposición.

La falta de manejo de la plantación acompañada del fenómeno de reptación, generó una relación asimétrica entre las variables dap y ht, aplicadas como regresoras en los modelos planteados. Por tal motivo fueron necesarias varias transformaciones como productos, potencias, inversos y logaritmos. Pese a la complejidad de los modelos obtenidos, el ajuste y las estimaciones alcanzadas cumplen con los criterios para su uso, por lo que pueden ser empleadas para la estimación de biomasa y carbono aéreo de plantaciones con las mismas condiciones edafoclimáticas y de manejo.

RECOMENDACIONES

Para plantaciones que presenten similares condiciones climáticas sin manejo y con el fenómeno de reptación emplear los modelos construidos en la presente investigación.

Realizar investigaciones entre la relación de la biomasa obtenida por componente según el manejo silvicultural que las plantaciones presentan.

Determinar la influencia del fenómeno de reptación en el crecimiento de la especie y por ende la cantidad de biomasa que una plantación puede tener en estas condiciones, además el carbono secuestrado en las mismas.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta M, Q. K. (2001). *Un método para la medición de carbono almacenado en la parte aérea de sistemas con vegetación natural e inducida en terreno de ladera en México*. Valdivia - Chile: INIFAP.

Acosta-Mireles, M., Carrillo-Anzures, F., & Díaz Lavariega, M. (2009).

Determinación del carbono total en bosques mixtos de Pinus patula Schl. et cham. Terra Latinoamericana, 27(2), 105-114.

Alberto, D. M., & Elvir, J. A. (2008). *Acumulación y fijación de carbono en biomasa aérea de Pinus oocarpa en bosques naturales en Honduras. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, 17(1), 67-78.*

Arteaga Martínez, B. (2003). *Evaluación dasométrica de una plantación de Pinus spp. en Perote, Veracruz, México. Foresta Veracruzana, 5(1).*

Crozier, M. J., & Glade, T. (2005). *Landslide hazard and risk: issues, concepts and approach. Landslide hazard and risk, 1-40.*

Figuroa-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, 1(1), 105-112.*

- Justine, M. F., Yang, W., Wu, F., Tan, B., Khan, M. N., & Zhao, Y. (2015). *Biomass stock and carbon sequestration in a chronosequence of Pinus massoniana plantations in the upper reaches of the Yangtze River*. *Forests*, 6(10), 3665-3682.
- Montoya Verdezoto, L. A. (2017). *Balance entre biomasa y carbono en plantación de pinus tecunumanii eguiluz & perry (pino) y araucaria angustifolia (bertol.) kuntze (araucaria) en la estación experimental la favorita, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas* (Bachelor's thesis).
- Návar, J., González, N., & Graciano, J. (2001, October). *Ecuaciones para estimar componentes de biomasa en plantaciones forestales de Durango, México*. In Simposio internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile (Vol. 18, p. 12).
- Pinazo, M. A., Martiarena, R. A., Von, A., Crechi, E., Pahr, N. M., & Knebel, O. (2007). *Efectos de la intensidad de raleo sobre la compartimentalización y stock de carbono en plantaciones de Pinus taeda L. establecida sobre ultisoles de Misiones*. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 36(1).
- Rodríguez, R., Jiménez, J., Aguirre, O., Treviño, E., & Razo, R. (2009). *Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la reserva de la biosfera el Cielo, Tamaulipas, México*. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo*, Recuperado de <http://revistas.unam.mx/index.php/rxm/article/view/15164/14413>
- Vachnadze, G. S., Tiginashvili, Z. T., Tsereteli, G. V., Aptsiauri, B. N., & Nishnianidze, Q. G. (2016). *Carbon stock sequestered from the atmosphere by coniferous forests of Eastern Georgia in conditions of global warming*. *Annals of Agrarian Science*, 14(2), 127-132.
- Zhao, J., Kang, F., Wang, L., Yu, X., Zhao, W., Song, X., ... & Han, H. (2014). *Patterns of biomass and carbon distribution across a chronosequence of Chinese pine (Pinus tabulaeformis) forests*. *PLoS one*, 9(4), e94966.