

**Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Forestales.
Maestría en Silvicultura y Manejo**

Maestrando
José Eduardo González

**Desarrollo de funciones de volumen para
inventarios de especies forestales en la
Reserva de Biosfera Yabotí, Misiones,
Argentina**

**Trabajo final de Maestría presentada para obtener el título de
Magister en el área Silvicultura y Manejo de la Facultad de
Ciencias Forestales – Universidad Nacional de Misiones**

“Este documento es resultado del financiamiento otorgado por el Estado Nacional, por lo tanto, queda sujeto al cumplimiento de la Ley N° 26.899”.

Director
M. Sc. Ramón Alejandro Friedl

Co-Directores
**Ing. Ftal. Rubén Costas
Dr. Juan Manuel Cellini**

**Eldorado, Misiones –
2006**



Esta obra está licenciado bajo Licencia Creative Commons (CC) Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

**DESARROLLO DE FUNCIONES DE VOLUMEN PARA INVENTARIOS DE
ESPECIES FORESTALES EN LA RESERVA DE BIOSFERA YABOTÍ,
MISIONES, ARGENTINA**

*Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad Nacional
de Misiones, Área Silvicultura y Manejo.*

González, José Eduardo

Ingeniero Forestal-Universidad Nacional de Misiones-2006

Lugar de trabajo: Reserva de Biosfera Yabotí, Misiones, Argentina.



Secretaría de Posgrado

Facultad de Ciencias Forestales – Universidad Nacional de Misiones

COMITÉ ORIENTADOR

Director de tesis

M Sc. Ramón Alejandro Friedl

Codirectores

Ing. Ftal. Rubén Costas

Dr. Juan Manuel Cellini

JURADO DE TESIS

Fecha de defensa de la tesis:

DEDICATORIA

Con profundo amor, este trabajo va dedicado a mis padres Arminda y Demetrio, a mis hijos Elías y Taiel quienes de alguna u otra manera me han acompañado en este andar.

AGRADECIMIENTOS

Van mis agradecimientos a todos los que me han acompañado de miles maneras a trabajar la constancia, la perseverancia y forjar los cimientos para que esto se haya plasmado como realidad:

A los operarios forestales que cedieron su tiempo, conocimientos y sugerencias para realizar las mediciones.

A Cristian Bulman, quien estuvo en los inicios de esta idea.

A toda la familia y compañeros de la empresa Puerto Laharrague SA.

A mi familia y amigos

A los directores, por tanta enseñanza.

DECLARACIÓN

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en esta u otra institución.

González, José Eduardo

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DECLARACIÓN	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ABREVIATURAS	XI
RESUMEN.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	1
Funciones de volumen.....	1
Antecedentes de utilización en la región	3
El bosque nativo en Misiones.....	5
<i>C. americana</i> (Guayubira).....	7
<i>M. campestris</i> (Rabo itá).....	7
<i>P. rigida</i> (Anchico colorado).....	7
<i>O. diospyrifolia</i> (Laurel ayuí).....	8
<i>B. riedelianum</i> (Guatambú blanco).....	8
<i>L. divaricata</i> (Zoita).....	8
<i>C. fissilis</i> (Cedro).....	8
<i>C. trichotoma</i> (Loro negro).....	9
<i>B. densiflora</i> (Loro blanco).....	9
<i>M. frondosus</i> (Incienso).....	9
OBJETIVO GENERAL	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
HIPÓTESIS	10
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11

ÁREA DE ESTUDIO.....	11
SELECCIÓN DE ESPECIES.....	14
SELECCIÓN DE LA MUESTRA	16
MEDICIÓN DE LA MUESTRA	18
PROCESAMIENTO DE DATOS	18
Determinación de los volúmenes por trozas y fustes.....	18
Procesamiento estadístico.....	19
EVALUACIÓN DE MODELOS	19
Evaluación de la precisión o bondad de ajuste	19
Evaluación de la exactitud o validación	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
P. rígida.....	28
C. gonocarpum	29
L. divaricata.....	30
C. fissiis	31
B. riedelianum	32
C. americana.....	33
M. frondosus.....	34
B. densiflora	35
N. angustifolia	36
O. diospyrifolia.....	37
C. trichotoma	38
M. campestris	39
CONCLUSIONES.....	41
BIBLIOGRAFÍA.....	42
ANEXOS.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Participación de las especies forestales en la producción de madera en rollo, dentro de la RBY.....	15
Tabla 2. Estadísticos descriptivos del dap, altura de fuste y volumen de fuste de la base de datos utilizada en el ajuste y validación de funciones de volumen de fuste	17
Tabla 3. Modelos de regresión utilizados para determinar las funciones de volumen de fuste con corteza	19
Tabla 4. Parámetros y estadísticos de bondad de ajuste para el volumen de fuste general para los modelos analizados.....	22
Tabla 5. Resumen de los indicadores de error para los modelos generales	27

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste y validación para la estimación del volumen de fuste para <i>P. rígida</i>	48
Anexo 2. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste para la estimación del volumen de fuste para <i>C. gonocarpum</i>	49
Anexo 3. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste para la estimación del volumen de fuste para <i>L. divaricata</i>	50
Anexo 4. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste para la estimación del volumen de fuste para <i>C. fissilis</i>	51
Anexo 5. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste para la estimación del volumen de fuste para <i>B. riedelianum</i>	52
Anexo 6. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste para la estimación del volumen de fuste para <i>Cordia americana</i>	53
Anexo 7. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste para la estimación del volumen de fuste para <i>M. frondosus</i>	54
Anexo 8. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste para la estimación del volumen de fuste para <i>B. densiflora</i>	55
Anexo 9. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste para la estimación del volumen de fuste para <i>N. angustifolia</i>	56
Anexo 10. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste para la estimación del volumen de fuste para <i>O. diospyrifolia</i>	57
Anexo 11. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste para la estimación del volumen de fuste para <i>C. trichotoma</i>	58
Anexo 12. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste para la estimación del volumen de fuste para <i>M. campestris</i>	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de áreas naturales protegidas en la provincia de Misiones, Argentina. Fuente: https://ecologia.misiones.gob.ar/corredor-verde/	12
Figura 2. Ubicación del Área de Estudio	14
Figura 3. Distribución de los residuos para los modelos generales analizados en el proceso de ajuste (modelos 1 al 7).....	24
Figura 4. Distribución de los residuos para los modelos generales analizados en el proceso de ajuste (modelos 8 al 12).....	25
Figura 5. Promedio del error de estimación del volumen de fuste, para los modelos generales. Las barras indican desviación estándar	26
Figura 6. Promedios del error de estimación del volumen de fuste, distribuidos por clases diamétricas para los modelos 4, 9,10 y 12. Las barras indican desviación estándar	27
Figura 7. Distribución de los residuos para los valores predichos de la función de volumen de fuste general seleccionada	28
Figura 8. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de <i>P. rigida</i> , distribuidos por clases diamétricas. Modelos 3, 4, 9,10 y 12. Las barras indican desviación estándar...	29
Figura 9. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de <i>C. gonocarpum</i> , distribuidos por clases diamétricas. Modelos 2, 3, 8, 9, 11 y 12. Las barras indican desviación estándar	30
Figura 10. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de <i>L. divaricata</i> , distribuidos por clases diamétricas. Modelos 2, 3, 4, 9 y 12. Las barras indican desviación estándar	31
Figura 11. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de <i>C. fissilis</i> , distribuidos por clases diamétricas. Modelos 3, 4, 9 y 12. Las barras indican desviación estándar.....	32
Figura 12. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de <i>B. riedelianum</i> , distribuidos por clases diamétricas. Modelos 3, 9, 10 y 12. Las barras indican desviación estándar	33
Figura 13. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de <i>C. americana</i> , distribuidos por clases diamétricas. Modelos 3, 4, 9 y 12. Las barras indican desviación estándar	34
Figura 14. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de <i>M. frondosus</i> , distribuidos por clases diamétricas. Modelos 3, 4, 9 y 12. Las barras indican desviación estándar	35
Figura 15. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de <i>B. densiflora</i> , distribuidos por clases diamétricas. Modelos 3, 4, 9, 10 y 12. Las barras indican desviación estándar	36
Figura 16. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de <i>N. angustifolia</i> , distribuidos por clases diamétricas. Modelos 3, 9 y 12. Las barras indican desviación estándar	37
Figura 17. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de <i>O. diospyrifolia</i> , distribuidos por clases diamétricas. Modelos 3, 9 y 12. Las barras indican desviación estándar	38

Figura 18. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de <i>C. trichotoma</i> , distribuidos por clases diamétricas. Modelos 3, 9, 10 y 12. Las barras indican desviación estándar	39
Figura 19. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de <i>M. campestris</i> , distribuidos por clases diamétricas. Modelos 3, 9 y 12. Las barras indican desviación estándar	40

ABREVIATURAS

ABS: Absoluto

AIC: Criterio de información de Akaike

b_i : Parámetros del modelo

cm: Centímetro

CAP: Circunferencia a la altura de pecho

CME: Cuadrado medio del error

CV: Coeficiente de variación

D_i : Diferencia absoluta

DA: Diferencia agregada

\bar{D} : Promedio de las diferencias absolutas

dap: Diámetro a la altura de pecho

DMC: Diámetro mínimo de corta

DSR: Desviación estándar de los residuos

EMA: Error medio absoluto

Hf: Altura de fuste

IA: Índice de exactitud

IF: Índice de Furnival

k: Constante

Kg/m^3 : Kilogramo por metro cubico

km: Kilómetro

Ln: Logaritmo natural

m: Metro

m^3 : Metro cúbico

n: Tamaño de la muestra

Max. Máximo

Min: Mínimo

Nº: Número

p : Número de parámetros del modelo

PANByCC: Plan de Acción Nacional de Bosques y Cambio Climático.

RBY: Reserva de Biosfera Yabotí

REDD+: Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques Nativos.

RCME: Raíz del cuadrado medio del error

R^2_{aj} : Coeficiente de determinación ajustado

SA: Sociedad Anónima

SAyDS: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable

S_{yx} : Error estándar de estimación

V: Volumen de fuste

VAR: Varianza

y_i : Variable dependiente observada

\hat{y}_i : Variable estimada o predicha

\bar{y}_i : Media de la variable dependiente

RESUMEN

Las funciones de volumen son herramientas de gran utilidad para la ordenación forestal sustentable. El estudio de ajuste de ecuaciones de volumen para especies forestales nativas, en la provincia de Misiones, resulta ser un tema a abordar debido a la utilidad que representan en los inventarios forestales y entendiendo de que existe poca evidencia bibliográfica que haya realizado el abordaje esta cuestión.

El objetivo de la tesis fue ajustar y validar funciones de volumen de fuste con corteza para 12 especies forestales nativas del boque atlántico, a través de técnicas de regresión lineal simple y múltiple. Se trabajó sobre una muestra de 1161 árboles; proveniente de rodales de la Reserva de Biosfera Yabotí en donde se realiza aprovechamiento forestal selectivo y de datos aportados de un estudio realizado en el departamento de Iguazú, de la Provincia de Misiones, Argentina. Los dap observados comprenden un rango de 24,6 a 129,4 cm; y la altura de fuste varió desde 2,2 hasta 36,2 m.

Los modelos propuestos por Spurr(1952) y Shumecher-Hall fueron los que presentaron mejores ajustes, en la especie *B. riedelianum*, donde se destacó además el modelo modificado de Brenac. En la validación de los modelos seleccionados, los valores promedios del error absoluto de estimación del volumen de fuste, estuvieron por debajo del 15 % para la mayoría de las especies. Recomendando su uso para la predicción del volumen de fuste de árbol individual, en el procesamiento de datos proveniente de inventarios forestales en el área de estudio.

PALABRAS CLAVE:

Regresión, volumen de fuste, ordenación forestal, biomasa, inventarios forestales, estimación, parámetros.

ABSTRACT

Volume functions are very useful tools for sustainable forest management. The study of the adjustment of volume equations for native forest species in the province of Misiones is a topic to be addressed due to the usefulness they represent in forest inventories and understanding that there is little bibliographic evidence that has addressed this issue.

The objective of the thesis was to adjust and validate functions of stem volume with bark for 12 native forest species of the Atlantic Forest, through simple and multiple linear regression techniques. We worked on a sample of 1161 trees from stands in the Yabotí Biosphere Reserve where selective forest harvesting is carried out and from data provided by a study carried out in the department of Iguazú, Misiones Province, Argentina. The observed DBH ranged from 24.6 to 129.4 cm; and the height of the stem varied from 2.2 to 36.2 m.

The models proposed by Spurr(1952) and Shumecher-Hall were the best fit models for *B. riedelianum*, where the modified Brenac model was also highlighted. In the validation of the selected models, the average values of the absolute error in the estimation of stem volume were below 15 % for most of the species. Their use is recommended for the prediction of individual tree stem volume in the processing of data from forest inventories in the study area.

KEY WORDS:

Regression, stem volume, forest management, biomass, forest inventories, estimation, parameters.

INTRODUCCIÓN

Funciones de volumen

Para lograr una planificación del uso de los recursos forestales es necesario contar con estudios básicos, que nos brinden herramientas necesarias para la toma de decisiones (Martínez Pastur, 2005). En este sentido debemos resaltar la importancia de aquellas que nos permitan obtener valores precisos, de existencias de una o varias especies, como las funciones de volumen. Estas son de gran utilidad para la ordenación forestal sustentable ya que a través de ellas y en combinación con otros complementos, se puede conocer el recurso forestal tanto a nivel de rodal o árbol individual (Machado Carcasés *et al*, 2003; Gezan *et al*, 2009; Oyarzún Lillo, 2008).

Las funciones de volumen representan una herramienta fundamental y básica, para la obtención de indicadores confiables sobre la estructura paramétrica del bosque (Da Silva Júnior, 2009), que pueden ser utilizadas en los inventarios forestales (Costas *et al*, 2006).

Son modelos matemáticos que permiten estimar el volumen de los árboles a través de la medición directa de una o más variables independientes, como el diámetro a la altura de pecho (dap), la altura total o comercial (Crechi *et al*, 2003) y/o alguna expresión de la forma del fuste. Lo anterior deriva de los inconvenientes que se presentan a la hora de estimar de manera directa el volumen, a través de la cubicación de secciones de fustes (Crechi *et al*, 2008). La técnica mayormente utilizada para el desarrollo de las funciones de volumen es el análisis de regresión, partiendo por la selección de una muestra de árboles representativa a los que se les mide el volumen y las variables predictoras, luego del ajuste de los modelos se seleccionan los de mejor ajuste considerando sus indicadores estadísticos (García, 1995).

Previo a la existencia de las herramientas informáticas, los resultados de las funciones de volumen generalmente eran expresados en forma tabular y, a través de una lectura rápida, se puede conocer el volumen total o comercial de un árbol, una vez obtenido los datos de las variables independientes (Costas *et al*, 2006).

Las funciones de volumen que relación el volumen del árbol con una sola variable independiente, generalmente el dap o transformaciones de esta, se denominan funciones de volumen local o tarifas. Las funciones de volumen general pueden emplear dos o más dimensiones del árbol: el dap, la altura total o comercial y eventualmente una expresión de la forma; denominándose en este caso función de volumen de clase de forma (Prodan *et al*, 1997).

Se ha planteado que antes de optar por un modelo resulta conveniente establecer cuáles serán los criterios de selección. En tal sentido Martínez Pastur (2005), postula que: a mayor cantidad de variables relacionadas en un modelo, se puede mejorar el ajuste a la vez que se aumentan los costos de toma de datos; y si existen variables de difícil medición o estimación se puede incurrir en imprecisiones del modelo.

Pérez (2021) sugiere que, dada la gran variedad de modelos alternativos, en la selección de los más apropiados deben considerarse criterios de simplicidad, objetividad y precisión. Entre los criterios de objetividad se mencionan al coeficiente de determinación ajustado, el error estándar de la media, el cuadrado medio del error, índice de Furnival, entre otros (Cancino, 2006). Para los tres últimos criterios mencionados, se debe seleccionar el modelo que presente el valor más bajo; por el contrario, para el caso del coeficiente de determinación ajustado hay que optar por el modelo con el valor más alto. El índice de Furnival es útil para la comparación de modelos que tienen diferentes variables dependientes, como por ejemplo al comparar un modelo que estima el volumen frente a otro que estima el logaritmo natural del volumen (Cancino, 2006).

Vanclay (1994) plantea que la evaluación de un modelo debe realizarse en todas sus etapas desde el diseño, ajuste y aplicación. Refiere que la crítica de un modelo debe implicar el examen de la estructura y propiedades del modelo, con o sin datos complementarios, para tener certezas de que no existan inconsistencias internas y que es biológicamente realista. El autor también propone una evaluación comparativa, en donde es deseable incluir datos distintos a los utilizados para el ajuste de los modelos.

Prodan *et al*, 1997 establecieron que luego del desarrollo de un modelo de regresión se procede al uso en predicciones o estimaciones, control de actividades, en aprender y concluir sobre los mecanismos que generan datos. Haciéndose necesario utilizar criterios que permitan evaluar la calidad predictiva en todo el rango de las variables independientes. En este sentido mencionan que una muestra de validación debe cubrir todas las condiciones de edades, sitios y manejos en donde se aplican el o los modelos; por lo que recomiendan una muestra grande superior a 100, sin sacrificar la calidad y diversidad de los datos.

Durante el proceso de validación, utilizando una muestra independiente a la utilizada en el ajuste, se utilizan estimadores estadísticos para evaluar la exactitud y el sesgo de los modelos. Prodan *et al*, 1997 plantean que los más referidos en la literatura para calcular la exactitud son: la raíz cuadrada del error medio cuadrático (RCME), el error medio absoluto (EMA) y la desviación estándar de los residuos (DSR). Para los dos primeros la diferencia es mínima y se evidenciaran notoriamente solamente si existen residuales extremos en los

modelos evaluados; mientras que el estadístico DSR es una medida de la dispersión de los residuos respecto a su media. Por último, para evaluar el sesgo se recurre a la diferencia agregada (DA) que representa una media de los residuales. Los signos negativos de la DA están relacionados con sobreestimaciones, mientras que los valores positivos indican subestimaciones

Antecedentes de utilización en la región

Autores como Oyarzún Lillo (2008), plantea que el bosque nativo presenta varias dificultades y desafíos a la hora de desarrollar funciones o modelos que expliquen el comportamiento de las variables dendrométricas de las especies. Debido principalmente a la composición de especies, heterogeneidad de la forma y bifurcaciones del fuste.

En Bolivia han desarrollado propuestas para la elaboración de funciones volumétricas y factores de forma; que luego han sido utilizadas para generar funciones de volumen para las especies nativas de sus bosques, enfatizando en la unificación de criterios para el desarrollo de las funciones de volumen (Dauber, 1997 y 2001). En el marco del proyecto BOLFOR el autor propone una metodología estandarizada para ampliar la base de datos de hasta aquel entonces, para la generación de funciones de volumen. Entre ellas se destacan las de Meyer, Schumacher-Hall, Spurr; además de una propuesta por Instituto de Investigación Forestal de Baden-Württemberg. Ya en el año 2001 se publican las tablas de volumen para las especies comerciales más importantes del mercado de Bolivia, que se construyeron a partir de una función de tipo lineal, en donde el volumen comercial es dependiente únicamente del DAP (Dauber, 2001). Se destaca que la muestra utilizada para el ajuste de las funciones fue de gran tamaño, pero no se explicita la existencia de un proceso de validación.

En Cuba evaluaron 22 modelos matemáticos de simple, doble y triple entrada, para la especie júcaro amarillo (*Buchenavia capitata* (Vahl) Eichler), de gran importancia comercial de los bosques de montaña. Concluyendo que el mejor modelo ajustado en función del coeficiente de determinación, error estándar e índice de Furnival; fue el logarítmico de Spurr (Machado Carcasés *et al*, 2003). La ecuación seleccionada fue validada a través del análisis residual entre los valores estimados por el modelo y los valores observados de una muestra independiente compuesta por 25 árboles. Los estadísticos utilizados para la validación fueron el error medio absoluto, porcentual y la desviación global.

En Perú se ajustaron 16 modelos matemáticos para Bolaina Blanca (*Guazuma crinita* Mart.), donde el modelo de Schumacher (Schumacher y Hall, 1933) presentó los mejores indicadores utilizados en el estudio (mayor R^2 , menor índice de Furnival y menor coeficiente

de variación) (Guerra, 2007). Respecto a la validación de los modelos se ha tenido en cuenta la desviación agregada como prueba de sesgo, el error o la desviación estándar del error y la desviación media. Sin embargo, no se menciona si el proceso de validación se realizó con una muestra independiente de la utilizada para el ajuste.

En un estudio realizado sobre 11 especies nativas del bosque atlántico, provenientes de un ensayo de plantaciones en Brasil, los autores concluyeron que los modelos de Spurr y el de Schumacher-Hall se comportaron satisfactoriamente para estimar el volumen de fuste con corteza (Boechat Soares *et al*, 2011).

Da Silva Júnior (2009) determinó que los modelos de Kopezky-Gehhardt y el de Spurr, fueron los que mejor se ajustaron para estimar el volumen de fuste para plantaciones de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Vell.) S.F. Blake), en Belem, Brasil. El autor propuso la utilización del test de Chi-cuadrado en el proceso de validación de los modelos seleccionados utilizando una muestra independiente del proceso de ajuste.

En Argentina se ha realizado una recopilación y análisis, referente al estudio y desarrollo de funciones de volumen desde sus inicios, a principios de la década del 80, hasta finales de la década del 90. Se reconoció la necesidad de contar con criterios unificados a la hora de elaborar funciones de volumen (Fucaraccio *et al*, 1999).

Al considerar el segundo inventario forestal de bosque nativos de la República Argentina (MAyDS, 2020), para la región selva misionera, se observa que en la estimación de los volúmenes de fustes y totales se han empleado funciones de volumen provenientes mayormente de un estudio realizado para el primer inventario de bosques nativos (SAyDS, 2005), y de otros autores como Costas *et al*, 2006 y Sevola, 1975. Este último autor ajustó ecuaciones de volumen para especies forestales del noroeste argentino.

Las funciones de volumen de tipo lineal, utilizadas para el procesamiento de datos de los inventarios nacionales realizados en la región selva misionera; surgieron del trabajo denominado manual de análisis de fustes. El cual consistió en el estudio de fustes de especies forestales nativas a través de mediciones de árboles en pie, por métodos ópticos. Utilizando para ello el relascopio de Bitterlich y el Criterion 400. El criterio de selección de especies a ser relevadas fue seleccionar las que representen el 75 % del área basal medio por hectárea. Logrando ajustar modelos lineales por grupos de especies y una ecuación general que incluyó a la muestra de las 26 especies estudiadas (SDSyPA, 2001). Es importante mencionar sobre este caso, que también han logrado ajustar modelos lineales combinando el DAP y diferentes expresiones de altura, dependiendo del tipo de volumen a estimar.

Por su parte Maggio y Cellini (2018), han publicado una recopilación de 563 ecuaciones para predecir el volumen (441) y la biomasa (122), abarcando 98 especies forestales de 19 provincias, con el objetivo de desarrollar una base de datos de ecuaciones de volumen y biomasa de uso público de las especies forestales de Argentina. Para el caso concreto de las especies nativas de la selva misionera, las funciones de volumen recopiladas en el estudio mencionado, se corresponden con la función de Naslund modificado; donde intervienen el DAP y la altura comercial como variables independientes las cuales no han sido validadas.

Es relevante mencionar que la fuente de recopilación que se menciona en el párrafo anterior, proviene de un estudio realizado en un bosque secundario en la Reserva de Usos Múltiple Guaraní, Provincia de Misiones. En la cual se ajustaron y evaluaron funciones de volumen de fuste para 14 especies forestales, seleccionando el modelo de Naslund, modificado por los autores, al tener un comportamiento estadístico global superior al resto de los modelos analizados (Costas *et al*, 2006). Existe otro antecedente sobre el desarrollo de tablas múltiple de 28 especies nativas del bosque misionero, publicado por el Centro de Estudios del Bosque Subtropical (CEBS) en el año 1972 (Volkart, 1972 como se citó en Fucaraccio *et al*, 1999).

Para el caso de las especies exóticas implantadas y para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, en la Provincia de Misiones, existe una disponibilidad de antecedentes mucho mayor que para el caso de las especies forestales nativas. Entre los que podemos mencionar los realizados por Costas *et al*, 2006, Crechi *et al*, 2003; Friedl *et al*, 1991a y 1991b.

El bosque nativo en Misiones

La selva paranense es la ecorregión con la mayor diversidad biológica de Argentina, ubicada en la parte más austral de la mata atlántica interior, también representada en menor proporción relativa en los países vecinos de Paraguay y Brasil (Burkart *et.al.*, 2002). A través del paso del tiempo la diferencia en el ritmo de transformación del bosque en estos países, derivó en que la provincia de Misiones actualmente conserve el mayor bloque continuo de selva, con más del 50 % de la cobertura original (Di Bitetti *et al.*, 2003).

Este posicionamiento de la provincia en torno al mantenimiento del patrimonio de bosques es gracias al compromiso asumido por el estado a mediados de la década del ochenta, con la creación de una red de áreas protegidas, el mejoramiento de la normativa forestal, la creación del Ministerio de Ecología; además del esfuerzo realizado por la sociedad civil, los pequeños productores, las pequeñas y medianas empresas (Burkart *et.al.*, 2002).

La última actualización del ordenamiento territorial del bosque nativo de Misiones (MAyDS, 2021), establece que existe una superficie total de 1.612.558 ha de selva paranaense, de la cuales aproximadamente el 70 % puede ser ordenado y manejado bajo objetivos productivos y/o de conservación. En este sentido la provincia viene desarrollando un programa de beneficio ambientales, con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero causados por la deforestación y degradación del bosque a través de la restauración y gestión sostenible del recurso (REDD+). El programa pretende el desarrollo de una estrategia provincial REDD+, alineado con el plan de acción nacional de bosques y cambio climático (PANByCC) en donde uno de los pilares del mecanismo es el de contar con un sistema de monitoreo del bosque nativo (Programa ECO2, 2022).

Por otro lado, de acuerdo con el segundo inventario nacional de bosque nativos, para la selva paranaense se han registrado un total de 149 especies arbóreas, de las cuales las cinco más representativas fueron *Cordia americana* (L.) Gottschling & J.S. Mill.; *Nectandra angustifolia* (Schrad.) Nees & Mart; *Muelleria campestris* (Mart. ex Benth.) M.J. Silva & A.M.G. Azevedo, *Ocotea diospyrifolia* (Meisn.) Mez y *Luehea divaricata* Mart. (MAyDS, 2020).

En cuanto al aprovechamiento forestal del bosque nativo, la habilitación de los rodales se realiza en base a los resultados de inventarios forestales. Basados en el decreto reglamentario de los diámetros mínimos de corta (DMC), 1617/86 y considerando un capital de árboles semilleros, se realiza una estimación de la posibilidad de corta distribuida por especies comerciales para cada rodal inventariado.

Además de este reglamento del aprovechamiento forestal, en la Reserva de Biosfera Yabotí se practicó el sistema de corta de serie mínima o de Liocourt, que permitía una extracción proporcional a la densidad por clase diamétrica, sin límites de DMC (Burkart *et.al.*, 2002). Otros sistemas probados en la RBY han sido el de plan plurianual y corta permisible anual; además de la cosecha de impacto reducido (Fornaso Davico, 2011).

Con respecto a la producción forestal dentro de la RBY, el 90 % de la producción de madera nativa se concentra en 14 especies comerciales y el 10 % restante en poco más de 25 especies forestales (Nicolás Laharrague, Com. Pers. 2023). Dentro del 90 % se mencionan a las siguientes especies como de mayor relevancia en términos de producción: *C. americana*, *M. campestris*, *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan, *O. diospyrifolia*, *Balfourodendron riedelianum* (Engl.) Engl., *L. divaricata*, *Cedrela fissilis* Vell., *Ocotea puberula* (Rich.) Nees, *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud., *Nectandra lanceolata* Nees & Mart., *Ruprechtia laxiflora* Meisn. y *Bastardiopsis densiflora* (Hook. & Arn.) Hassl. Dentro del 10

% restante es importante mencionar a la especie *Myrocarpus frondosus* Allemão por su alto valor comercial.

***C. americana* (Guayubira)**

Se distribuye en los países de Bolivia, Paraguay, Brasil meridional, Argentina y Uruguay. En las regiones fitogeográficas de Argentina se la encuentra en la selva paranaense, yungas y el parque chaqueño oriental. El árbol es de porte mediano a grande, con alturas totales de 20 a 30 metros, de fuste recto, canaliculado, con base reforzada a tabular. Su madera posee colores que van desde el grisáceo para el caso de la albura y castaño verdoso en el duramen. Al 15 % de humedad presenta una densidad de 800 kg/m^3 , estable dimensionalmente, con aplicaciones en construcción, cabos de herramientas, remos, muebles, vigas para puentes, entre otros usos (Dummel *et al*, 2003).

***M. campestris* (Rabo itá)**

Especie oriunda de Paraguay, Brasil y noreste de Argentina (Misiones y norte de Corrientes). Integrante del estrato medio de la selva misionera, heliófila y pionera. En estado adulto es un árbol de porte medio a grande, alcanzando entre 20 a 30 metros de altura total. Su fuste es recto y de sección circular, con la base ligeramente reforzada. La madera presenta una diferenciación marcada entre albura y duramen, de color blanco-amarillenta para la primera y amarillo-ocrácea para la segunda; es pesada y dura alcanzando una densidad estacionada de 900 kg/m^3 . Utilizada para carrocerías, tirantería, pisos, marcos para aberturas, implementos agrícolas, entre otros (Grance *et al*, 2015).

***P. rigida* (Anchico colorado)**

Especie nativa que se distribuye en Paraguay, sur de Brasil, noreste de Argentina y noroeste de Uruguay, en Argentina se distribuye en Misiones y el noreste de Corrientes. Característico del estrato arbóreo medio superior, alcanzando alturas de entre 15 y 30 metros y dap entre 42 y 67 centímetros, crece tanto en suelos húmedos como secos, siendo más abundante en suelos con buen drenaje (Gartland *et al*, 1995). La madera es dura y pesada, con un peso específico de 970 kg/m^3 , de comportamiento regular durante el proceso de secado, presentando ciertas dificultades en el aserrado y trabajo de desbaste, exigiendo el empleo de elementos cortantes bien afilados. Entre sus usos más destacados, la cámara de la madera (CADAMDA), menciona a los umbrales y escalones, interior y exterior, estructuras o bastidores, parantes o columnas en galería; estructura de techos, pisos para galerías.

***O. diospyrifolia* (Laurel ayuí)**

Pertenece a la familia de las Lauraceae, el laurel ayuí dentro del territorio argentino se distribuye desde Buenos Aires hasta Misiones por el este y noreste, y en la región de las Yungas en el noroeste. En estado adulto puede llegar a alturas totales entre los 10 a 25 metros y diámetros de 20 a 70 centímetros. Posee hábito de copa baja, fuste recto y cilíndrico, de base reforzada, su madera varía de color amarillo a marrón-amarillento, con un peso específico que ronda los 650-750 kg/m³. Entre sus usos se menciona útil para mueblería, la industria del laminado y construcciones rurales (Gartland y Bohren, 2008).

***B. riedelianum* (Guatambú blanco)**

Especie perteneciente a la familia de las Rutaceae, con distribución natural en Brasil, Paraguay y Argentina en donde se la puede encontrar en Corrientes y Misiones. En estado adulto es un árbol de gran porte, pudiendo llegar a los 35 metros de altura en edad adulta. De fuste recto y cilíndrico a levemente tortuoso. Su densidad específica varía entre 800 a 900 kg/m³, el color de la madera varía de en los tonos del blanco-amarillento. Su madera posee un alto valor comercial, utilizada en la industria del laminado, muebles, pisos, entre otros usos (Carvalho, 2004).

***L. divaricata* (Zoita)**

Pertenece a la familia de las Tiliaceae, se distribuye naturalmente en Paraguay, Brasil, Uruguay y Argentina. En Argentina su extensión abarca las provincias de Buenos Aires, Entre Ríos, Santa Fe, Chaco, Formosa, Corrientes y Misiones. Es una especie del estrato inferior y medio de la selva misionera. El árbol en estado adulto tiene hábito de copa baja, con abundante ramificación, de fuste inclinado y espiralado de sección elíptica o circular y de base reforzada. Su madera es de color amarillo-ocráceo, ligeramente rosado, semipesada y semidura, al 15 % de humedad presenta una densidad de 670 kg/m³ (Bohren *et al*, 2012).

***C. fissilis* (Cedro)**

Esta especie posee una amplia distribución geográfica, desde Costa Rica hasta el noreste de Argentina, concretamente en la selva misionera. Heliófila, de porte mediano a grande, puede alcanzar hasta 30 metros de altura total, copa alta y follaje caduco (Gartland *et al*, 1996). Posee una madera de color castaño rojiza, liviana a moderadamente pesada con un peso específico de 550 kg/m³ al 15 % de humedad. Utilizada en mueblería fina, compensados y chapas para placas, molduras, instrumentos musicales.

***C. trichotoma* (Loro negro)**

Pertenece a la familia Boraginaceae, originaria de Brasil, Paraguay, Oeste de Bolivia y Argentina. Para el caso de Argentina, se distribuye en las provincias de Salta, Tucumán, Jujuy, Misiones y Corrientes. Es una especie pionera, colonizadora, forma parte del dosel superior de la selva, pudiendo llegar a una altura total de 30 metros. En estado adulto es de porte mediano a grande, con longitudes de fuste de 12 a 16 metros, con habito de copa alta. El fuste es recto, circular, con base tabular. El color de la madera varía desde blanquecino-amarillo ocre en la albura y castaño-verdoso en el duramen, semidura y semipesada, con una densidad al 15 % de humedad de 600 kg/m^3 . Se emplea en mueblería fina, chapas y laminas, instrumentos musicales, molduras, entre otros (Bohren et al, 2007).

***B. densiflora* (Loro blanco)**

Especie nativa de Brasil Meridional, Paraguay y Argentina; encontrándose solamente en la ecorregión selva misionera. Se caracteriza por ser pionera y colonizadora. De porte medio, puede alcanzar alturas totales de hasta 25 metros, con diámetros medios que pueden variar de 33 a 42 centímetros; la altura media de fuste ronda en rangos de 5,5 a 7,7 metros, con máximos de 12 metros. Posee habito de copa baja, fuste recto y cilíndrico a canaliculado en ejemplares de mayor porte y base reforzada (Gartland y Bohren, 1994). Su madera es de color blanco-amarillenta, moderadamente dura y semi-pesada con una densidad de 700 kg/m^3 . De fácil trabajabilidad, útil para el faqueado, machimbres, flejes de cama y mueblería.

***M. frondosus* (Incienso)**

Especie originaria de Brasil austral, Paraguay y Argentina. En este último país se la puede encontrar en las provincias de Misiones y norte de Corrientes. De baja frecuencia, forma parte del dosel superior de la selva, con alturas máximas de fuste de 15 metros. Los ejemplares adultos presentan un fuste recto y cilíndrico con base reforzada. Madera de muy alto valor comercial, de color castaño claro a castaño oscuro. Posee una densidad de 845 kg/m^3 . Entre sus usos se destaca en carpintería, marcos para aberturas, pisos, tirantearía, escaleras, muebles (Árboles de Misiones, 1993).

La generación de conocimiento sobre el manejo del bosque en Misiones sigue planteándose como una cuestión fundamental para acercarse a la sustentabilidad, desde la silvicultura, mejoramiento de especies de valor comercial, mediciones de tasas de crecimiento a través de la creación de una red de parcelas de diferentes ensayos ya instalados permitirían obtener información para generar modelos de crecimiento y aprovechamiento

del bosque; a la vez de contar con información para aplicar modelos de pagos por servicios ambientales (Campanello *et al*, 2019).

El estudio de ajustes de ecuaciones de volumen para especies forestales nativas, en la provincia de Misiones, resulta ser un tema a abordar con el fin de contar con herramientas más precisas a la hora estimar este parámetro; debido a la utilidad que representan en los inventarios forestales y entendiendo de que existe poca evidencia bibliográfica que trate esta cuestión.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar y validar funciones de predicción del volumen fuste para 12 especies forestales comerciales del noreste de la provincia de Misiones, generados a partir del ajuste de modelos de regresión lineal y múltiple.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Desarrollar y validar funciones de volumen de fuste en relación al dap, la altura de fuste y/o su combinación para 12 especies forestales comerciales del noreste de la provincia de Misiones.

Comparar las diferencias de estimación del volumen de fuste entre las funciones ajustadas a nivel de especies, frente a las funciones generales que involucran al total de las especies.

HIPÓTESIS

La utilización de predictores como el dap, la altura de fuste aprovechable y/o su combinación, son suficientes para el ajuste de modelos que predicen el volumen de fuste de 12 especies forestales de la selva paranaense.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio abarcó los departamentos de San Pedro y Guaraní, dentro de la RBY (26°46' S- 54°10' O); además se utilizaron datos recolectados en el departamento de Iguazú (25°50' S- 54°23' O), provincia de Misiones.

La Reserva de Biosfera Yabotí (RBY) es un Área Natural Protegida de Uso Múltiple, ubicada en los municipios de San Pedro y El Soberbio, Misiones. Fue creada en el año 1993 por la Ley Provincial 3041 comprendiendo un área núcleo, una zona de amortiguación y un área de transición abarcando un área aproximada de 236.313 ha. En el área de transición se realizan actividades productivas, principalmente el aprovechamiento forestal del bosque nativo. Forma parte del corredor verde de la provincia, creada por ley 3631, que intenta promover la conservación y el desarrollo sostenible de todas las altas cuencas de la provincia (Campanello *et al*, 2019). Regulada y controlada por el Ministerio de Ecología de la Provincia de Misiones, para intervenir en el área de transición es necesario la formulación de un plan de manejo forestal.

Se localiza en el centro-este de la Provincia de Misiones, departamento San Pedro y Guaraní. Cubre un amplio sector de las subcuencas de los arroyos Yabotí, tributarios del Alto Uruguay, y todavía cubierto de selvas en un buen estado de conservación. Entre los cursos fluviales del sector que corren con sentido norte-sur se destacan el Pepirí-Guazú, límite internacional con el Brasil y el Yabotí o Pepirí-Miní integrado por dos grandes cursos paralelos que se unen a unos 10km al norte de su desembocadura en el Uruguay: el Yabotí-Guazú al oeste y el Yabotí Miní al este. En el siguiente mapa se observa la RBY y el entorno donde se encuentra ubicado dentro de la provincia de Misiones.

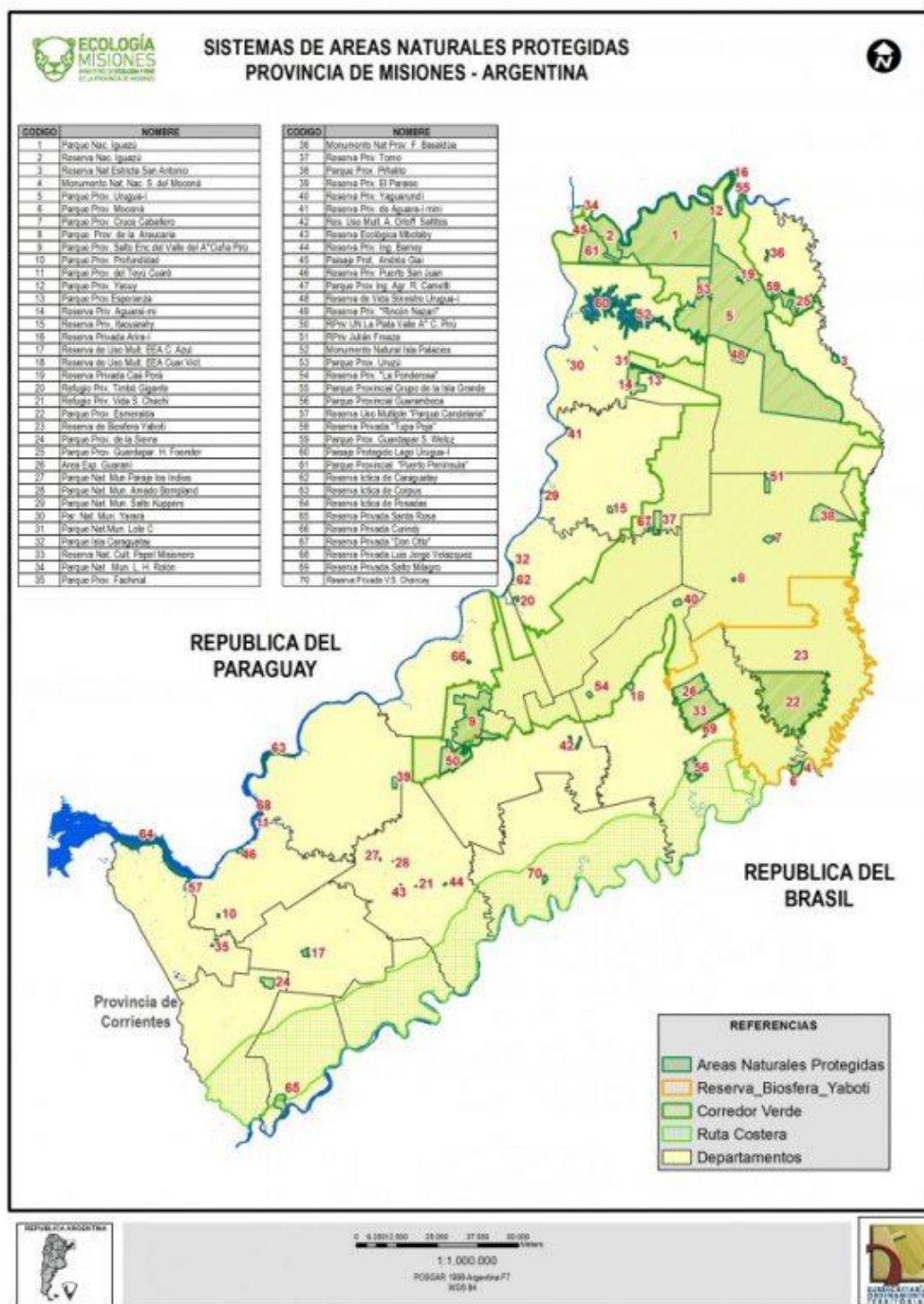


Figura 1. Sistema de áreas naturales protegidas en la provincia de Misiones, Argentina.

Fuente: <https://ecologia.misiones.gob.ar/corredor-verde/>

El ambiente, desde el punto de vista fitogeográfico, corresponde a la región neotropical, dominio amazónico, provincia paranaense, distrito de las selvas mixtas comunidad climática de las selvas de laurel, guatambú y pino Paraná (Cabrera, 1976).

La vegetación del área de estudio se caracteriza por una alta diversidad vegetal; se han relevado 102 especies arbóreas, distribuidas en 79 géneros y 42 familias botánicas (Garibaldi *et al*, 2000)

El dosel arbóreo está integrado por: laurel negro (*Nectandra angustifolia* (Schrad.) Nees & Mart), guatambú blanco (*Balfourodendron riedelianum* (Engl.) Engl.), yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.), guayubira (*Cordia americana* (L.) Gottschling & J.S. Mill.), marmelero (*Ruprechtia laxiflora* Meisn.), guabirá (*Campomanesia xanthocarpa* O. Berg), María preta (*Diatenopteryx sorbifolia* Radlk.), cancharana (*Cabranea oblongifolia* (Vell.) Mart., cerella (*Eugenia involucrata* DC) anchico blanco (*Pseudalbizzia niopoides* (Spruce ex Benth.) E.J.M. Koenen & Duno), loro blanco (*Bastardiopsis densiflora* (Hook. & Arn.) Hassl.), cacheta (*Didymopanax morototoni* (Aubl.) Decne. & Planch.), entre otras especies de interés.

En el estrato intermedio o arbustivo se encuentra el helecho arborescente o chachí bravo (*Trichipteris sp.*), parí paroba (*Piper arboreum* Aubl. var. *arboreum*), ortiga brava (*Urera baccifera* (L.) Gaudich), canelón (*Myrsine lorentziana* (Mez) Arechav.), grandes manchones de tacuarembó (*Chusquea ramossissima* Lindm.), tacuapí (*Morostachys clausenii* Munro).

Los suelos de la RBY corresponden a las unidades cartográficas o complejos 6, 9, 3 y 2. Dentro de las propiedades que se relacionan con el este trabajo, se encuentran los complejos 6 y 3.

Respecto del complejo 6 se corresponden con “suelos pedregosos”, poco evolucionados, jóvenes, derivados del meláfiro alterado y fracturado hasta 2 metros, permeables, fértiles, ácidos. Este complejo cuenta con dos fases: 6A y 6B.

En la figura 2 se observa el área de estudio, y su la ubicación relativa dentro de las áreas de donde se recolectaron las muestras en la RBY.

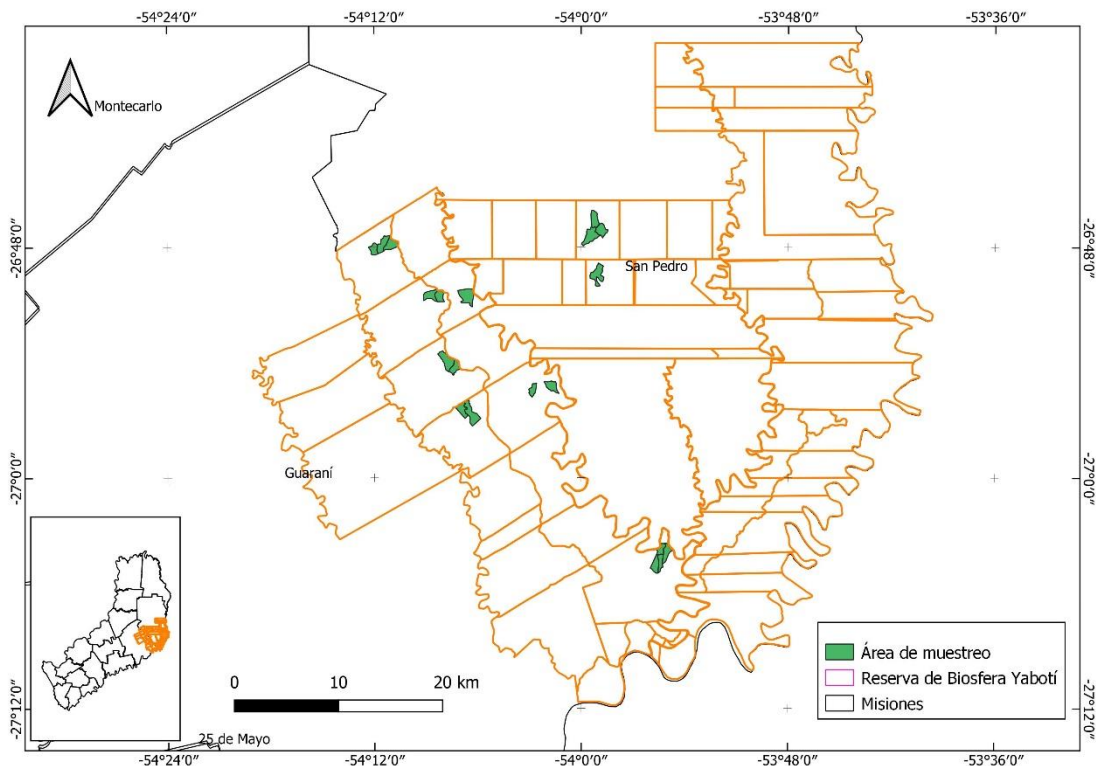


Figura 2. Ubicación del Área de Estudio

SELECCIÓN DE ESPECIES

Para la selección de las especies se tuvo en consideración la participación de cada una en la producción de los frentes de cosecha, que está relacionada con la demanda del mercado para el periodo en el cual se colectaron los datos. De acuerdo con estadísticas de la empresa Puerto Laharrague SA, para el periodo 2022-2018, se incluye en la tabla 1 el porcentaje de participación en la producción de madera en rollos, dentro de la RBY, resaltando las que forman parte del presente estudio (Laharrague, Nicolás, com. Pers. 2023).

A su vez se basó en la importancia económica para el mercado de la madera en rollos, además de incluir especies consideradas “de ley” en la provincia (*C. fissilis*, *M. frondosus* y *C. trichotoma*). El listado de especies quedó conformado de la siguiente manera, además de las tres anteriores: *C. americana*, *M. campestris*, *P. rigida*, *O. diospyrifolia*, *B. riedelianum*, *L. divaricata*, *B. densiflora*, *N. angustifolia* y *C. gonocarpum*

Tabla 1. Participación de las especies forestales en la producción de madera en rollo, dentro de la RBY.

Nombre científico	Nombre común	Proporción
<i>Cordia americana</i>	Guayubira	17,05%
<i>Muelleria campestris</i>	Rabo ita	14,81%
<i>Parapiptadenia rigida</i>	Anchico	13,91%
<i>Ocotea diospyrifolia</i>	Laurel ayui	12,01%
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	Guatambu	6,88%
<i>Luehea divaricata</i>	Azota Caballo	6,18%
<i>Cedrela fissilis</i>	Cedro	4,27%
<i>Ocotea puberula</i>	Guayca	4,11%
<i>Cordia trichotoma</i>	Loro Negro	3,62%
<i>Nectandra lanceolata</i>	Laurel amarillo	2,72%
<i>Ruprechtia laxiflora</i>	Marmelero	2,23%
<i>Bastardiopsis densiflora</i>	Loro blanco	2,10%
-	Varios (*)	2,04%
<i>Nectandra angustifolia</i>	Laurel negro	1,58%
<i>Apuleia leiocarpa</i>	Grapia	1,46%
<i>Peltophorum dubium</i>	Cañafistola	0,97%
<i>Cabralea oblongifolia</i>	Cancharana	0,69%
<i>Styrax leprosus</i>	Carne de vaca	0,55%
<i>Didymopanax morototon</i>	Cacheta	0,54%
<i>Prunus subcoriacea</i>	Persiguero	0,49%
<i>Myrocarpus frondosus</i>	Inciense	0,48%
<i>Jacaranda puberula</i>	Caroba	0,37%
<i>Cupania vernalis</i>	Camboata	0,30%
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Timbo	0,26%
<i>Gleditsia amorphoides</i>	Espina corona	0,20%
<i>Aralia warmingiana</i>	Sabuguero	0,07%
<i>Maclura tinctoria</i>	Mora amarilla	0,07%
<i>Dahlstedtia muehlbergiana</i>	Rabo molle	0,05%
Total		100%

(*) Dentro del grupo “Varios” se incluye la especie *Chrysophyllum gonocarpum* (aguay), la cual forma parte de la muestra.

SELECCIÓN DE LA MUESTRA

La base de datos utilizada para el ajuste y validación de las funciones de volumen, provienen del muestreo realizado en la RBY y de datos generados en otro estudio (Friedl, 1996).

Los datos obtenidos en la RBY provienen de los árboles volteados, en las diferentes áreas de aprovechamiento forestal (Figura 2). Durante las campañas de medición se levantaron los datos de acuerdo a la demanda de rollos de cada frente de cosecha, los cuales pertenecen a diferentes industrias forestales.

La base de datos contempla un total de 1161 árboles, distribuidas entre las 12 especies que se detallan en la tabla 2. El total de los datos fue dividido en dos proporciones para cada especie, siendo el 75 % de la muestra destinada al ajuste y el 25 % restante a la validación de las mismas (Valenzuela Castillo, 2017). Para cada especie se asignó un número aleatorio a cada dato, luego se ordenó de mayor a menor, y el 25 % de los datos con mayor número aleatorio fueron destinados para la base de validación, y el 75 % restante para la base de datos de ajuste. En la misma tabla se describen las estadísticas descriptivas del dap, altura de fuste y volumen de fuste; clasificados de acuerdo a la muestra de ajuste y de validación.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos del dap, altura de fuste y volumen de fuste de la base de datos utilizada en el ajuste y validación de funciones de volumen de fuste

Especie	Muestra	n	dap(cm)				Altura de Fuste(m)				Volumen de Fuste(m3)			
			Min	Media	Max	CV (%)	Min	Media	Max	CV (%)	Min	Media	Max	CV (%)
<i>Parapiptadenia rigida</i>	Ajuste	269	43,7	71,5	121,3	19,25	3,40	7,24	16,40	31,97	0,6	2,3	6,2	43,8
	Validación	91	46,8	72,6	129,4	21,22	3,90	7,38	13,90	31,72	0,8	2,5	8,3	51,0
<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>	Ajuste	12	40,4	49,2	66,3	15,56	4,90	6,69	10,15	27,69	0,5	1,0	2,1	55,0
	Validación	4	43,0	50,2	57,6	12,23	4,68	6,33	8,36	24,84	0,9	1,0	1,4	22,5
<i>Luehea divaricata</i>	Ajuste	16	42,3	69,9	108,9	22,66	2,25	5,09	7,30	26,46	0,9	1,7	5,5	66,5
	Validación	6	50,1	66,4	97,0	25,97	4,40	6,61	11,40	39,92	0,8	1,8	3,4	51,6
<i>Cedrela fissilis</i>	Ajuste	49	51,7	64,2	95,4	14,53	3,90	7,31	13,73	30,05	1,0	2,0	4,2	35,0
	Validación	16	55,0	66,9	84,1	11,87	3,90	7,12	10,65	29,29	1,1	2,1	3,5	36,5
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	Ajuste	67	24,3	45,2	59,8	16,02	4,63	10,40	15,50	23,46	0,3	1,2	2,3	32,3
	Validación	26	30,7	47,9	78,7	21,27	6,60	10,42	15,74	20,51	0,5	1,2	2,9	39,2
<i>Cordia americana</i>	Ajuste	32	50,6	70,5	95,2	13,80	3,20	6,56	11,67	30,85	0,6	2,1	3,4	32,2
	Validación	11	52,2	67,1	91,0	18,61	3,50	6,16	9,90	30,56	0,8	2,0	5,4	65,8
<i>Myrocarpus frondosus</i>	Ajuste	113	42,0	61,1	88,9	14,77	3,90	7,94	16,65	33,27	0,6	1,8	6,2	46,1
	Validación	39	43,7	63,8	90,6	16,17	3,65	7,81	15,15	37,86	0,7	2,0	4,2	38,2
<i>Bastardiopsis densiflora</i>	Ajuste	12	44,6	54,8	65,3	13,54	6,78	10,49	13,41	21,08	1,2	1,9	3,2	35,3
	Validación	7	45,2	50,8	69,1	16,63	3,50	10,63	13,95	33,62	1,2	1,5	1,9	18,6
<i>Nectandra angustifolia</i>	Ajuste	74	37,2	58,8	87,3	15,70	2,65	6,16	11,65	26,11	0,2	1,5	3,0	40,0
	Validación	25	42,0	58,1	72,8	13,90	2,65	6,71	11,70	29,96	0,5	1,5	2,5	34,2
<i>Ocotea diospyrifolia</i>	Ajuste	133	42,0	66,8	93,8	18,71	2,65	6,47	12,90	28,61	0,4	1,8	4,0	47,2
	Validación	44	43,7	70,7	108,3	17,52	2,65	6,29	9,65	27,72	0,5	2,0	4,3	41,5
<i>Cordia trichotoma</i>	Ajuste	28	48,5	57,5	76,4	11,17	5,40	10,69	20,00	33,05	0,8	2,1	5,2	38,4
	Validación	10	49,0	56,1	69,1	10,68	2,15	11,16	15,95	40,12	0,4	2,0	4,0	45,2
<i>Muelleria campestris</i>	Ajuste	58	38,2	50,0	69,4	14,29	4,40	9,07	16,50	28,96	0,6	1,4	2,4	30,2
	Validación	19	43,6	49,2	62,4	10,25	5,75	10,03	14,73	26,97	0,9	1,5	2,2	23,4
Total Ajuste		863	24,3	63,4	121,3	21,96	2,25	7,58	20,00	34,83	0,2	1,9	6,2	47,3
Total Validación		298	30,7	64,3	129,4	22,97	2,15	7,77	15,95	36,15	0,4	2,0	8,3	50,8

MEDICIÓN DE LA MUESTRA

La base de datos fue construida a partir de mediciones de la altura de fuste (H_f), en metros; circunferencia a la altura de pecho (CAP), en centímetros, y circunferencia con corteza a lo largo del fuste, hasta el comienzo de bifurcación del fuste. Se registró, además, la altura del tocón y su circunferencia.

PROCESAMIENTO DE DATOS

Determinación de los volúmenes por trozas y fustes

Para cada individuo registrado, el volumen con corteza para cada sección, fue obtenida a través de la fórmula de Smalian (1), y el volumen del tocón a través de la fórmula del cilindro (2) (Prodan *et al*, 1997). El volumen de fuste se obtuvo por sumatoria de los volúmenes de cada sección, desde el tocón hasta la bifurcación del fuste.

$$v = \frac{\pi}{8} (d_1^2 + d_2^2) l \quad (1)$$

$$v = \frac{\pi}{4} d^2 l \quad (2)$$

En donde v es el volumen de la sección con corteza (m^3); d es el diámetro del tocón en la sección del corte (cm), d_1 y d_2 son los diámetros en la base y extremo superior de las secciones; l es la longitud de cada sección (m).

Con la base de datos definida se ajustaron las funciones de volumen de fuste a través de regresión lineal simple y múltiple. En la tabla 3 se presentan los modelos que fueron ajustados para predecir el volumen de fuste. La selección de los modelos se corresponde con los de mayor uso en la bibliografía consultada.

Tabla 3. Modelos de regresión utilizados para determinar las funciones de volumen de fuste con corteza

Nro.	Modelo	Fuente
1	$V=b_0 + b_1.dap$	Berkhout
2	$V = b_0 + b_1. (dap.Hf)$	Spurr 1(1952)
3	$V = b_0 + b_1 (dap^2.Hf)$	Spurr 2(1952)
4	$V = b_0 + b_1 dap^2 + b_2.(dap^2.Hf)$	Ogaya
5	$V = b_0 + b_1.dap + b_2.dap^2+ b_3.(dap.Hf) + b_4.(dap^2.Hf)$	Meyer 1
6	$V = b_0 + b_1.dap^2 + b_2.(dap^2.Hf) + b_3.(dap.Hf^2)+ b_4.Hf^2$	Naslund
7	$V = b_0 + b_1.dap + b_2.dap^2 + b_3.dap.Hf + b_4.dap^2.Hf + b_5.Hf$	Meyer 2
8	$\ln V= b_0 + b_1.Ln (dap)$	Berkhout 2
9	$\ln V = b_0 + b_1.Ln (dap^2.Hf)$	Spurr 3(1952)
10	$\ln V= b_0 + b_1.(1/dap) + b_2.Ln (dap^2.Hf)$	Brenac modificado
11	$\ln V= b_0 + b_1.Ln (dap) + b_2/dap$	Brenac
12	$\ln V = b_0 + b_1.Ln (dap) + b_2.Ln (Hf)$	Schumacher-Hall (1933)

Hf: Altura de fuste (en metros), b_i: parámetros del modelo, Ln: logaritmo natural, dap: Diámetro a la altura de pecho (en metros); V: Volumen de fuste (en m³).

Procesamiento estadístico

El ajuste de todos los modelos, se realizó utilizando técnicas de regresión lineal y múltiple, a través del método de mínimos cuadrados ordinarios, empleando el software Infostat (Di Rienzo *et al*, 2020). Tanto a nivel general, donde se analizaron los modelos utilizando toda la base de datos para el ajuste, como a nivel de especie.

EVALUACIÓN DE MODELOS

Evaluación de la precisión o bondad de ajuste

Los estadísticos que se utilizaron para evaluar y comparar los ajustes fueron: el coeficiente de determinación ajustado (3),

$$R^2_{aj} = 1 - \frac{(n-1) \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n-p) \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

el error estándar de estimación (4)

$$S_{yx} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n - p)} \quad (4)$$

y el criterio de información de Akaike (5)

$$AIC = n \times \ln \left[\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / n \right] + 2k \quad (5)$$

Cuando se compararon ecuaciones en donde la variable dependiente de una función es logaritmo, respecto de otra dependiente sin logaritmo, o al comparar modelos con diferentes números de parámetros se utilizó el índice de Furnival (6) (Silva, citado en Crechi *et al*, 2003).

$$IF = EXP \left[\frac{\sum_{i=1}^n \ln(Vfuste)}{n} \right] \times S_{yx} \quad (6)$$

Donde y_i es la variable dependiente observada, \hat{y}_i la variable estimada o predicha, \bar{y}_i es la media de la variable dependiente, n es el tamaño de la muestra, p el número de parámetros del modelo y $k = p + 1$.

Por último, se evaluó el cumplimiento de los supuestos de homogeneidad de la varianza, y distribución normal de los residuos.

Evaluación de la exactitud o validación

Para validar los modelos se tuvo en cuenta al índice de ajuste (7), que contempla el uso de los residuales; conceptualmente es un indicador similar al coeficiente de determinación (Moret *et al*, 2007).

$$IA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (7)$$

Además, se analizaron los siguientes estadísticos: las diferencias absolutas entre los valores observados y predichos por los modelos (8)

$$D_i = |y_i - \hat{y}_i| \quad (8)$$

El promedio de las diferencias absolutas, (9)

$$\bar{D} = \frac{\sum D_i}{n} \quad (9)$$

La varianza (10),

$$VAR(D_i) = \frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{(n - 1)} \quad (10)$$

El cuadrado medio del error (11),

$$CME = \bar{D}^2 + VAR(\bar{D}) \quad (11)$$

Y la raíz del cuadrado medio del error (12),

$$RCME = \sqrt{CME} \quad (12)$$

Donde y_i es la variable dependiente observada, \hat{y}_i la variable estimada o predicha, \bar{y}_i es la media de la variable dependiente, n es el tamaño de la muestra.

Por último, se realizaron análisis gráficos de los errores, comparando los modelos generales y específicos, por clases diamétricas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 4 se presenta el resumen de los coeficientes de regresión y los estadísticos asociados al ajuste de los 12 modelos bajo análisis, considerando a todas las especies.

Tabla 4. Parámetros y estadísticos de bondad de ajuste para el volumen de fuste general para los modelos analizados

M	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	Prueba F	R ² Aj	AIC	Syx	Furn.
1	-1,205	4,867	-	-	-	-	F(1,861)=1190,129 p<0,0001	0,580	1502,215	0,576	-
2	-0,137(*)	0,428	-	-	-	-	F(1,861)=1856,853 p<0,0001	0,683	1259,322	0,501	-
3	0,210	0,542	-	-	-	-	F(1,861)=9957,293 p<0,0001	0,920	67,177	0,251	-
4	0,119	0,621	0,486	-	-	-	F(2,860)=5576,936 p<0,0001	0,928	-22,289	0,239	-
5	-0,027(*)	0,392(*)	0,374(*)	0,007(*)	0,477	-	F(4,858)=2786,412 p<0,0001	0,928	-19,563	0,239	-
6	0,152	-0,013(*)	0,635	-0,010	0,003(*)	-	F(4,858)=2874,347 p<0,0001	0,930	-44,488	0,235	-
7	0,254(*)	-0,467(*)	1,005(*)	0,119(*)	0,392(*)	0,036(*)	F(5,857)=2228,431 p<0,0001	0,928	-18,247	0,239	-
8	1,301	1,611	-	-	-	-	F(1,861)=1227,253 p<0,0001	0,587	357,824	0,297	0,503
9	-0,388	0,908	-	-	-	-	F(1,861)=11919,906 p<0,0001	0,933	-1205,608	0,118	0,200
10	-0,065(*)	-0,146	0,828	-	-	-	F(2,860)= 6674,593 p<0,0001	0,939	-1296,034	0,114	0,193
11	1,210	1,792	0,107(*)	-	-	-	F(2,860)= 613,525 p<0,0001	0,587	359,319	0,297	0,503
12	-0,187	1,897	0,826	-	-	-	F(2,860)= 6625,445 p<0,0001	0,939	-1290,043	0,114	0,193

b_i : coeficientes de regresión, (*) no significativo, R²Aj.: coeficiente de determinación ajustado, AIC: criterio de información de Akaike, Syx: error estándar de estimación, Furn.: índice de Furnival

La prueba F resultó altamente significativa en todos los modelos (P<0.0001). Los valores de R²aj estuvieron entre 0,58 y 0,94.

Los modelos de 2 al 7 han arrojado buenos estimadores estadísticos, pero es importante mencionar que los modelos 5 al 7 presentan un grado de complejidad mayor al incluir de 4 a 5 términos independientes para estimar el volumen de fuste.

Al comparar los estadísticos de ajuste de los tres primeros modelos, se evidencia que el de Spurr de variable combinada, en donde el dap se encuentra elevada al cuadrado, es superior a los modelos 1 y 2.

Al evaluar los resultados mencionados en la tabla 4, junto con la complementación del análisis gráfico de la distribución del volumen predicho frente a los volúmenes observados y la distribución de los residuos se puede inferir que los mejores resultados preliminares se corresponden con los modelos 3, 4, 9, 10 y 12.

En Chile han sido reportados resultados similares en el ajuste de funciones de volumen total para las especies de roble, raulí y coigue (Valenzuela Castillo, 2017). Otras referencias indican que los modelos de Schumacher-Hall y de Spurr; han sido propuestos para la estimación de volúmenes comerciales (Guerra, 2007; Azevedo *et al.*, 2011; Tonini y Schwengber, 2006). Para *Acacia mangium* Willd, los valores de R^2 ajustado para predecir el volumen total con corteza fueron de 0,94 y 0,98 para el modelo de Spurr sin y con transformación logarítmica respectivamente. En tanto que para el modelo de Schumacher-Hall el coeficiente de determinación obtenido en el ajuste fue de 0,97 (Tonini y Schwengber, 2006). En tanto que para la plantación *Eucalyptus sp.* en la Floresta Nacional de Ibura el modelo de Schumacher-Hall fue seleccionado, comparándolo con otros 5 modelos, para estimar el volumen sin corteza, al presentar un coeficiente de determinación ajustado de 0,8745 y un error estándar del 10, 37 % (Azevedo *et al.*, 2011).

En Brasil lograron ajustar una función de volumen comercial general para 62 especies de un bosque tropical a partir del modelo de Schumacher-Hall, con un R^2 ajustado de 0,9815 (Chichorro *et.al.*, 2003). Cabe mencionar que la muestra utilizada para el estudio fue obtenida a través de la medición de árboles en pie con el relascopio de Bitterlich, en un bosque secundario en estado avanzado de sucesión.

En Colombia optaron por el modelo de Spurr para estimar el volumen total de *Swietenia macrophylla* King, obteniendo un R^2 ajustado de 0,96 (Hernández Ramos et al, 2018). En este caso la muestra fue recolectada a través de la medición directa de los diámetros en las secciones basales hasta la altura de fuste de 2,5 metros; y a partir de allí utilizaron el relascopio de Bitterlich para continuar con los registros de diámetros hasta la altura total.

Del análisis de fustes realizado para la selva misionera, en donde también se realizaron mediciones de árboles en pie a través de métodos ópticos, el modelo lineal de variable combinada de Spurr (modelo 3 en este trabajo), se comportó satisfactoriamente para predecir el volumen hasta la base de copa con corteza con indicadores de R^2 que estuvieron entre 0,86 y 0,94 dependiendo del grupo de especies (SDSyPA, 2001). Otro modelo analizado en dicho estudio, fue el lineal utilizando como variable independiente el cuadrado del diámetro; en donde el R^2 varió entre 0,83 y 0,89 dependiendo del grupo de especies considerado. En este trabajo el modelo mencionado no fue considerado; pero al observar los estimadores del modelo de Berkhout el coeficiente de determinación estuvo en 0,58.

De acuerdo a lo planteado por Costas *et al* (2006), el modelo modificado de Naslund tuvo mejor comportamiento para predecir el volumen de fuste con corteza de 14 especies de un bosque secundario, en el área de influencia de la RBY, no resultando así para este estudio.

Si bien el modelo de Naslund modificado no fue evaluado en este trabajo, los predictores que resultaron significativos en el modelo 6 fueron el $(dap^2 \times Hf)$ y $(dap \times Hf^2)$. Al analizar los valores del coeficiente de determinación ajustado para los modelos 3 al 7, si bien resultan en valores altos, el comportamiento de los residuos manifiesta tendencias que indican heterocedasticidad de la varianza (figura 3); disminuyendo este patrón para los modelos 8 al 12 (figura 4).

Figura 3. Distribución de los residuos para los modelos generales analizados en el proceso de ajuste (modelos 1 al 7).

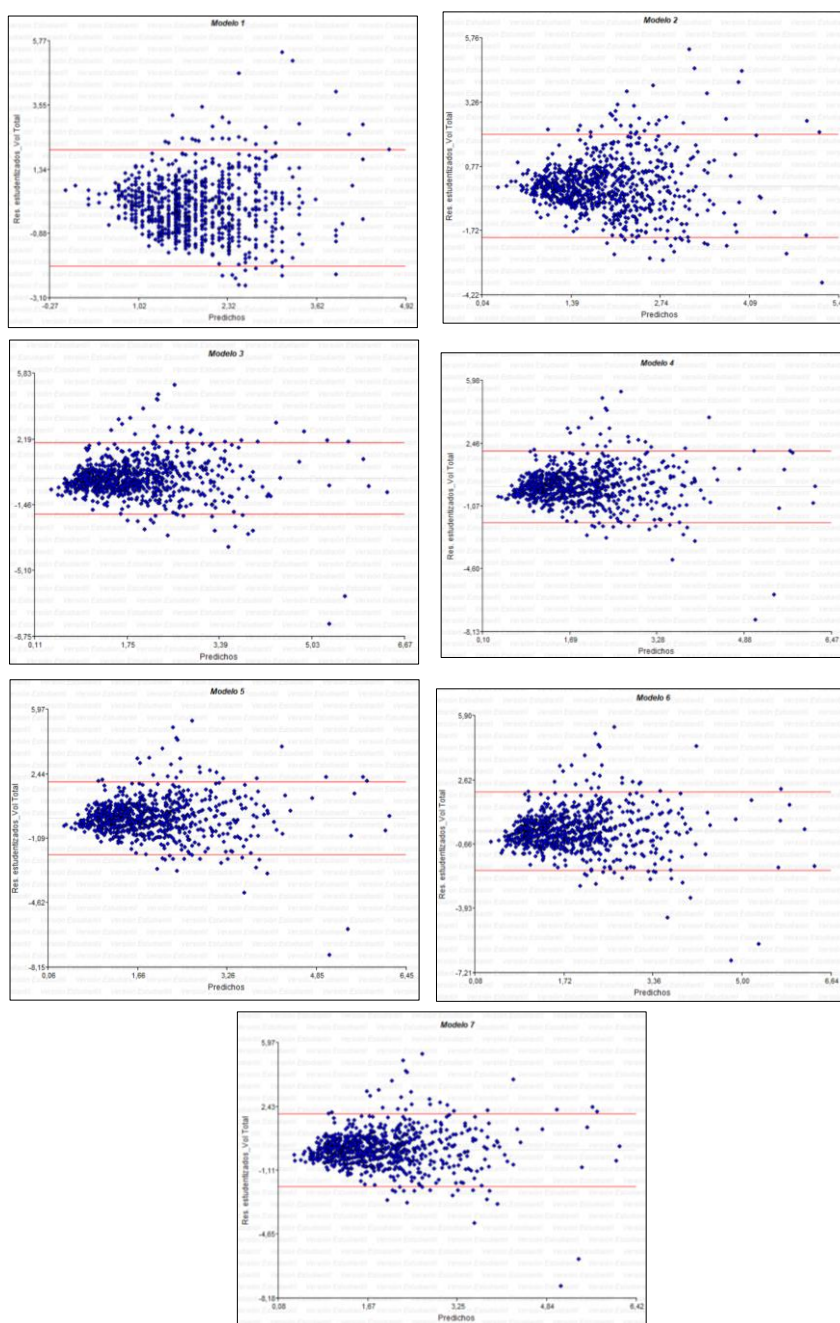
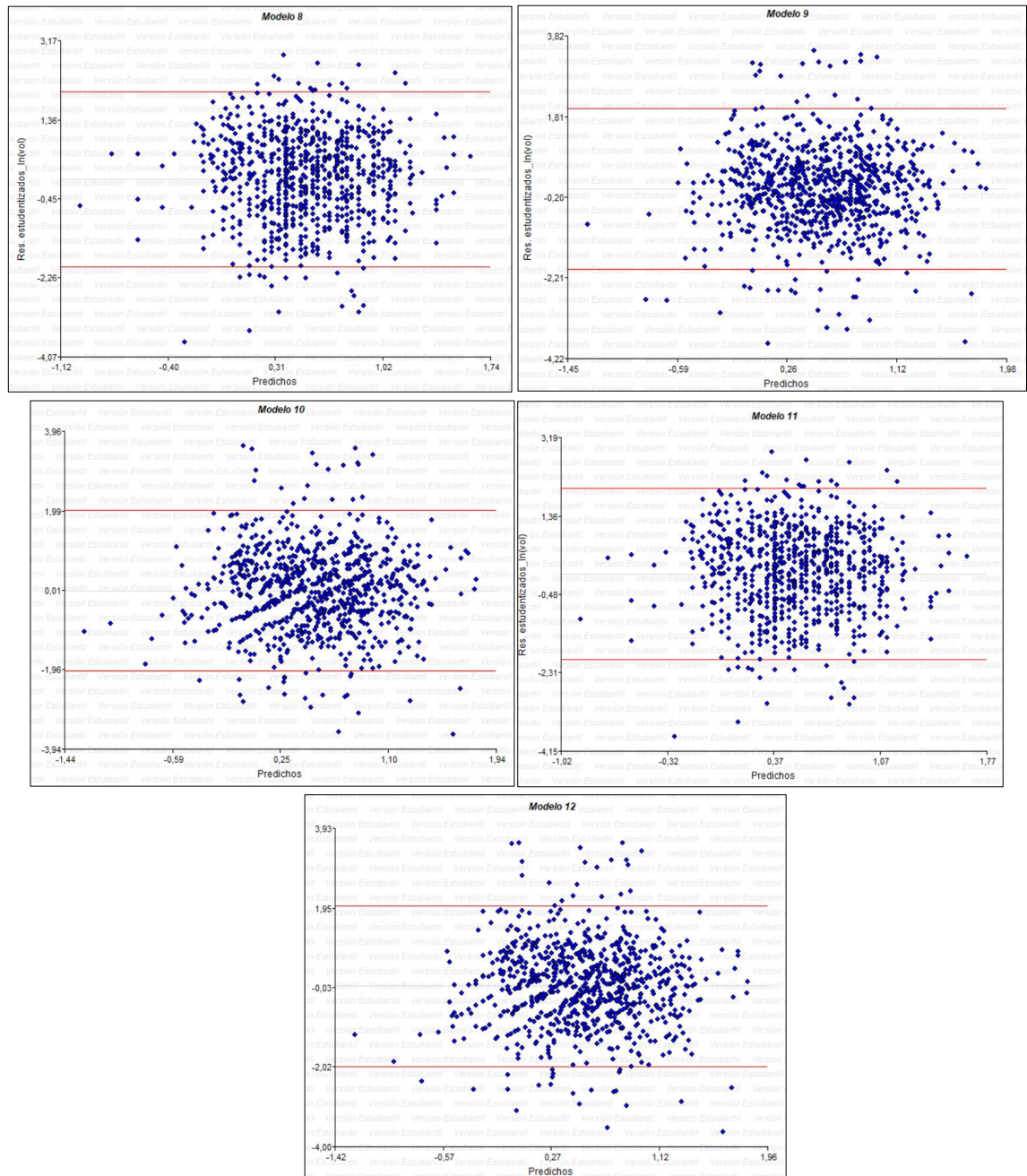


Figura 4. Distribución de los residuos para los modelos generales analizados en el proceso de ajuste (modelos 8 al 12).

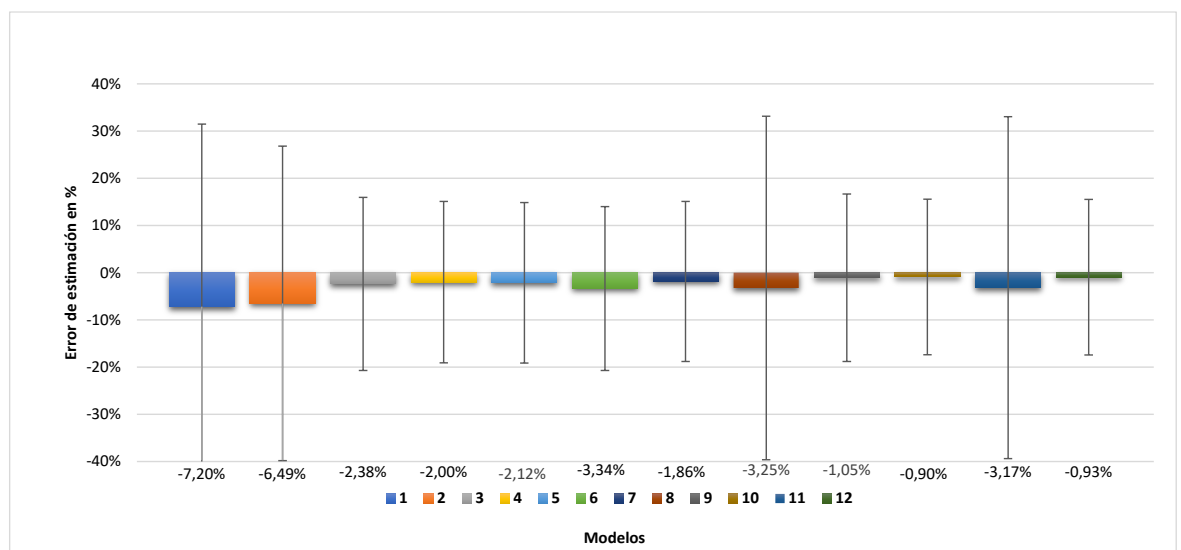


Si bien algunos autores plantean que en la práctica del ajuste de funciones a través de técnicas de regresión excepcionalmente se cumple con el supuesto de homocedasticidad de la varianza (Carabelli *et al.*, 2004), también se plantea que es uno de los principales problemas que se presentan en el ajuste de modelos en donde se requiere una estructura longitudinal de datos (Valenzuela Castillo, 2017).

En este estudio y en concordancia con lo obtenido por Costas *et al*, 2006 los modelos 1, 2, 8 y 11; dependientes del dap y sus transformaciones no han tenido un desempeño aceptable en el ajuste y validación.

Respecto a la validación de los modelos seleccionados en el proceso de ajuste, en la figura 5, se resume el error de estimación del volumen de fuste expresado en porcentajes. Los modelos elegidos por los indicadores de ajuste, reflejaron menores errores de estimación. El modelo número 7, no contemplado en la preselección, arrojó un valor de error sensiblemente menor que el modelo 4.

Figura 5. Promedio del error de estimación del volumen de fuste, para los modelos generales. Las barras indican desviación estándar



Los promedios de errores de estimación del volumen de fuste general para los modelos 10 y 12 son muy similares, siendo del 0,9 % y 0,93 % respectivamente. Al analizar los estadísticos de sesgo, obtenidos a partir del proceso de validación, el modelo 12 resultó ser el más adecuado para la predicción del volumen de fuste para las especies estudiadas y para el rango de las variables independientes consideradas.

En la tabla 5 se presentan los estadísticos de validación para todas las ecuaciones generales agregando que las funciones de volumen de fuste obtenidas tienden a sobreestimar los valores de la variable dependiente en las clases de diámetro inferiores y sobre estimar en las clases superiores de dap.

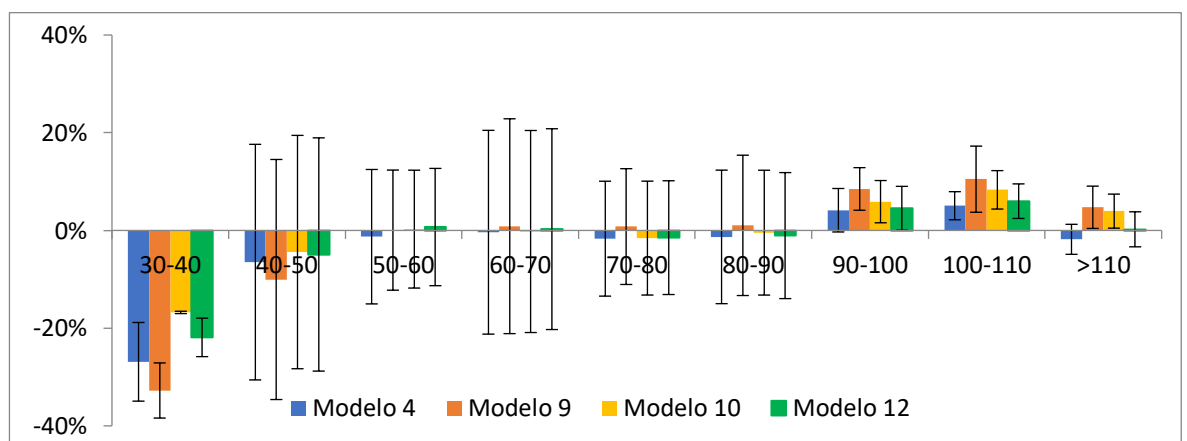
Tabla 5. Resumen de los indicadores de error para los modelos generales

Modelo	IA (%)	D(m ³)	S(m ³)	RCME(m ³)
1	59,9%	0,47	0,423	0,635
2	64,6%	0,44	0,410	0,598
3	89,7%	0,20	0,257	0,323
4	91,2%	0,18	0,240	0,298
5	91,2%	0,18	0,240	0,297
6	91,3%	0,18	0,237	0,296
7	91,3%	0,18	0,239	0,297
8	60,2%	0,46	0,430	0,633
9	90,0%	0,19	0,251	0,317
10	91,4%	0,18	0,236	0,295
11	60,7%	0,46	0,425	0,629
12	91,5%	0,17	0,236	0,293

Donde IA: índice de ajuste; D: promedio de las diferencias absolutas entre el volumen de fuste estimado y el volumen de fuste observado; S: desvío estándar de D; RCME: raíz del cuadrado medio del error.

En la figura 6 se observa el comportamiento del sesgo de predicción para los modelos generales 4, 9, 10 y 12; a través de las diferentes clases diamétricas.

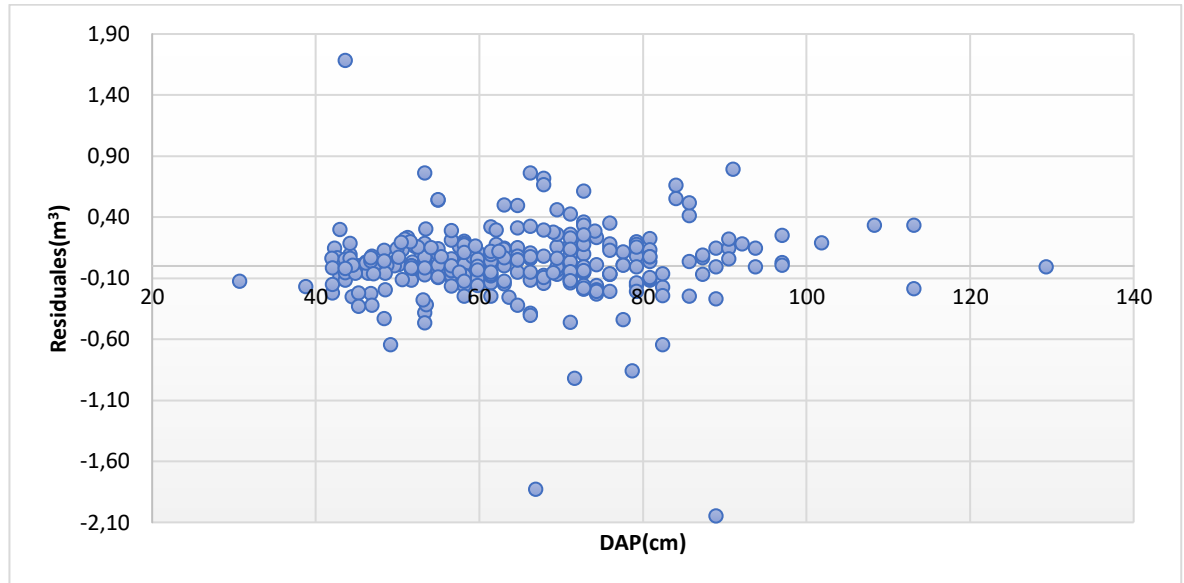
Figura 6. Promedios del error de estimación del volumen de fuste, distribuidos por clases diamétricas para los modelos 4, 9, 10 y 12. Las barras indican desviación estándar



Es importante mencionar que para la clase de dap 30-40, la muestra de validación está compuesta de dos datos extremos de clase de dap de la especie *B. riedelianum*, razón por la cual se pueda explicar el comportamiento del error absoluto para los 4 modelos analizados en la figura. Al analizar el comportamiento del error promedio para el rango de clases 40-110 centímetros, se observa un comportamiento homogéneo para los 4 modelos; y con promedios por debajo del 10 %, que representan valores aceptables para este tipo de modelos (Martínez Pastur, 2005).

En la figura 7 se presenta la distribución de los residuales del volumen de fuste predicho para el modelo 12 general.

Figura 7. Distribución de los residuos para los valores predichos de la función de volumen de fuste general seleccionada



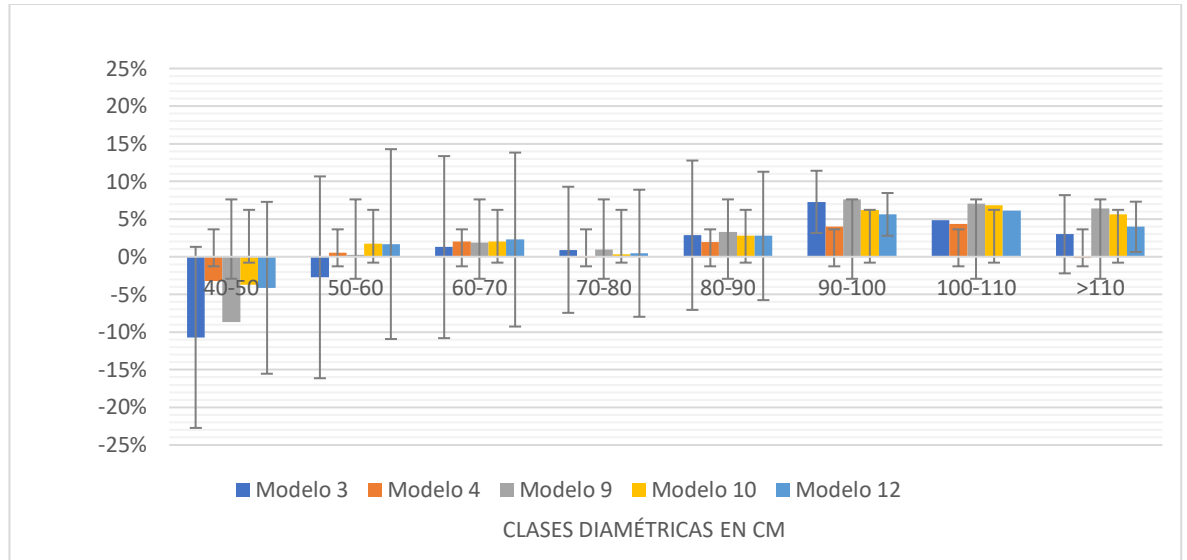
El 16 % de los datos utilizados en el proceso de validación del modelo 12 general, arrojaron valores de errores en términos porcentuales superiores al 15 %. Los desvíos más grandes se observan en la especie *B. riedelianum*, seguido por *P. rígida* y *C. fissilis*. Este hecho puede sugerir que este modelo pueda generar estimaciones de volumen con mayor error para estas especies, principalmente para *B. riedelianum* que participa en un 50 % de los residuos que superan el 20 % de error respecto al volumen observado.

P. rígida

Los resultados del ajuste y validación de las funciones de volumen para Anchico colorado se encuentran detalladas en el anexo 1. Siguiendo el criterio de análisis para las funciones de volumen general, los mejores indicadores de ajuste y validación se manifestaron en los modelos 3, 4, 9, 10 y 12. Es importante resaltar que para los 5 modelos mencionados la prueba F resultó altamente significativa en todos los modelos ($P < 0.0001$), pero para los modelos 4 y 10 los coeficientes de regresión (b_0 y b_1), no han manifestado una alta significancia. Al analizar el comportamiento del sesgo de los modelos dentro de cada clase diamétrica, se puede observar que existe una tendencia a la sobreestimación en la clase de dap 40-50 cm en un máximo de 10,71 % para el caso del modelo 3. En las clases superiores la tendencia pasa a la sobreestimación, salvo el caso del modelo 3 que en la clase

diamétrica 50-60 cm subestima en un promedio del 2,73 %. Las sobreestimaciones mencionadas son menores al 8 % (Figura 8).

Figura 8. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de *P. rigida*, distribuidos por clases diamétricas. Modelos 3, 4, 9,10 y 12. Las barras indican desviación estándar

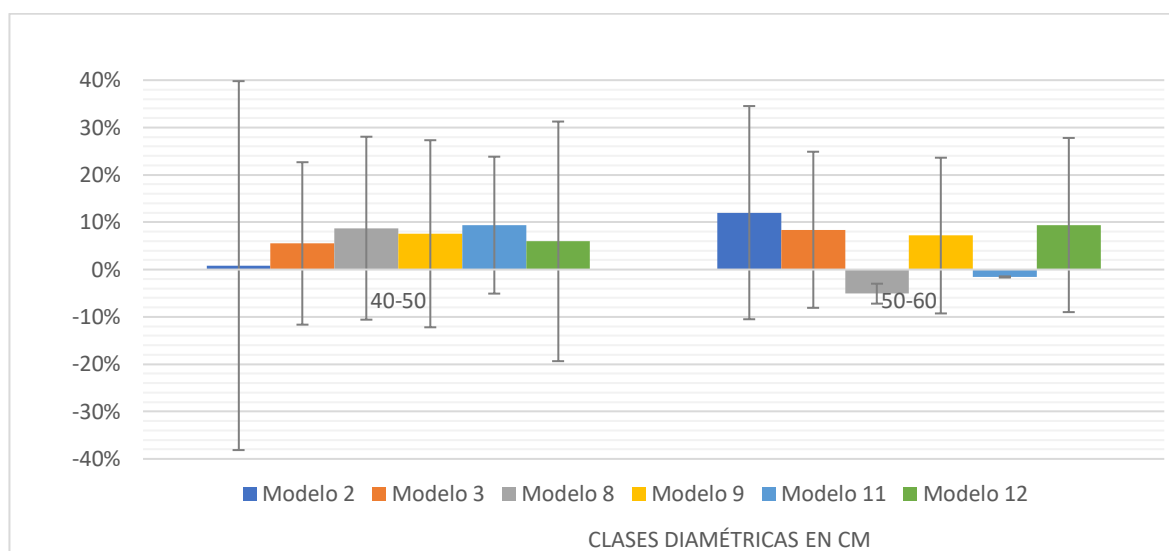


Del análisis gráfico del proceso de validación, en complemento con los resultados expresados en el anexo 1 se desprende que los mejores modelos para estimar el volumen de fuste de *P. rigida* son el de 3 (Spurr 2) y 12 (Schumacher-Hall).

C. gonocarpum

Los resultados del ajuste y validación de las funciones de volumen para la especie Aguay se encuentran detalladas en el anexo 2. Siguiendo el criterio de análisis para las funciones de volumen general, los mejores indicadores de ajuste se manifestaron en los modelos 2, 3, 9 y 12. Es importante resaltar que en el proceso de validación los resultados del índice de ajuste fueron muy variables en todos los modelos, paradójicamente en los modelos 8 y 11, donde el coeficiente de determinación ajustado fue de 0,636 y 0,617 respectivamente; los índices de ajuste fueron los más altos. Al analizar el comportamiento del sesgo de los modelos dentro de cada clase diamétrica, se puede observar que existe una tendencia a la sobreestimación en la clase de dap 50-60 cm en un promedio del 5,1 % para el caso del modelo 8 y en menos del 2 % para el modelo 11. En los demás modelos analizados la tendencia es de subestimación del volumen de fuste, que en el modelo 2 fue del 12 % en promedio para la clase de dap 50-60 cm (Figura 9).

Figura 9. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de *C. gonocarpum*, distribuidos por clases diamétricas. Modelos 2, 3, 8, 9, 11 y 12. Las barras indican desviación estándar

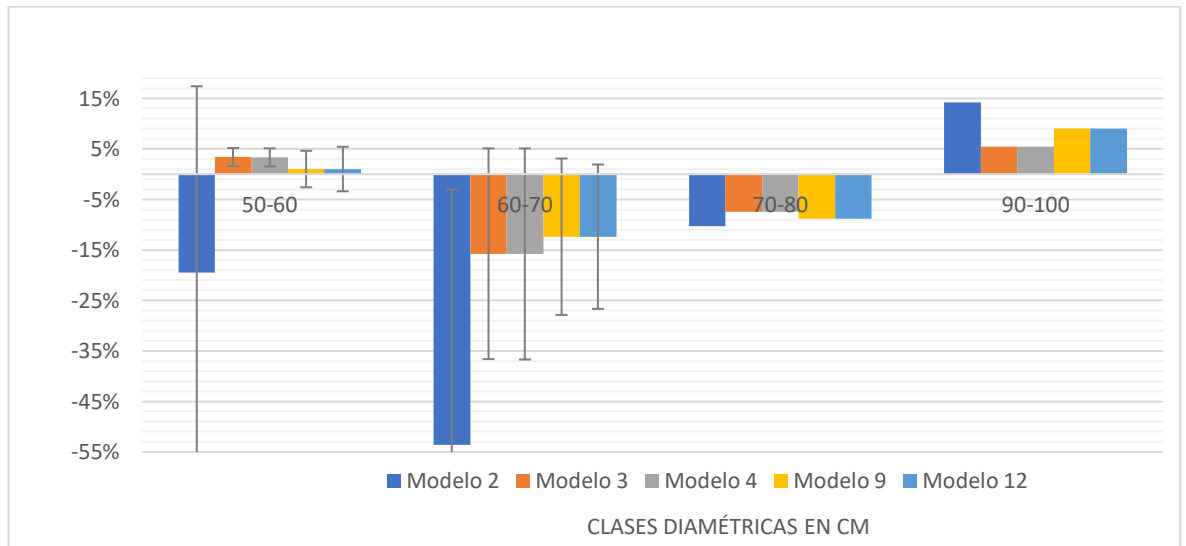


Del análisis gráfico del proceso de validación, en complemento con los resultados expresados en el anexo 2 se concluye que el mejor modelo para estimar el volumen de fuste de *C. gonocarpum* es el logarítmico de Spurr (modelo 9).

L. divaricata

Los resultados del ajuste y validación de las funciones de volumen para la especie *Zoita* se encuentran detalladas en el anexo 3. Del análisis para las funciones de volumen de fuste, los mejores indicadores de ajuste se manifestaron en los modelos 2, 3, 4, 9 y 12; resultando superior el modelo 9. Al analizar el comportamiento del sesgo de los modelos dentro de cada clase diamétrica, se puede observar que existe una tendencia a la sobreestimación en la clase de dap 50-60 cm en un promedio del 19,2 % para el caso del modelo 2. Dentro de la misma clase los demás modelos presentaron una leve tendencia a la subestimación en promedios que no superaron el 5 % de error de estimación del volumen de fuste. En las clases intermedias del rango de datos, la tendencia general fue de sobreestimar el volumen de fuste, muy acentuado en el modelo 2 y en la clase de dap 60-70 cm. Para la última clase diamétrica analizada el sesgo indica una subestimación del volumen por debajo del 10 % en promedio para los modelos 3, 4, 9 y 12; y del 14,2 % en el caso del modelo 2 (Figura 10).

Figura 10. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de *L. divaricata*, distribuidos por clases diamétricas. Modelos 2, 3, 4, 9 y 12. Las barras indican desviación estándar



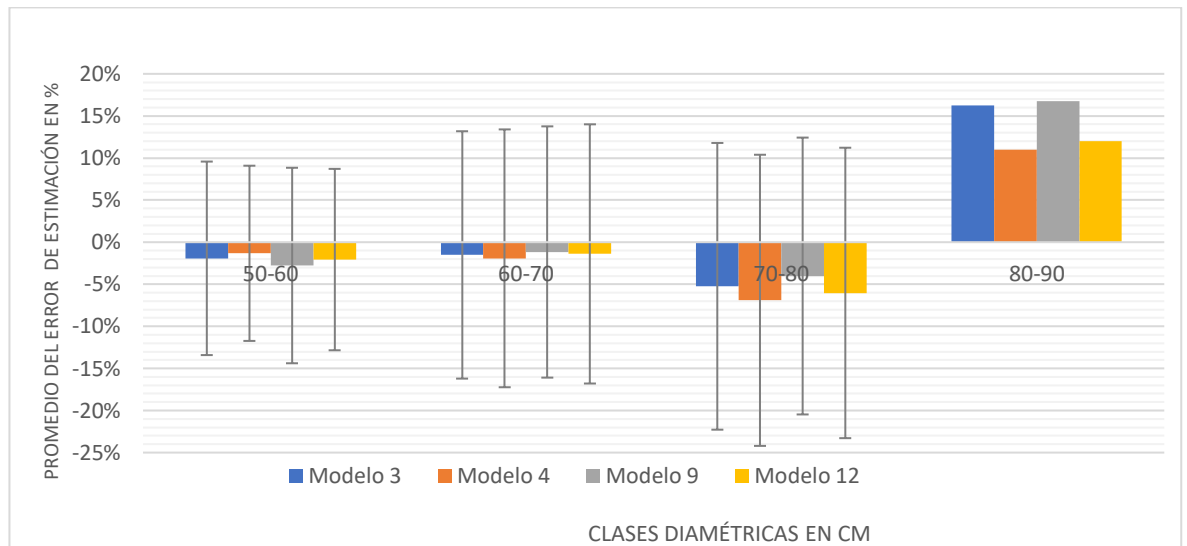
Del análisis gráfico del proceso de validación, teniendo en consideración los resultados expresados en el anexo 3 se concluye que los mejores modelos para estimar el volumen de fuste de *L. divaricata* son el de Spurr (modelos 3 y 9), Schumacher-Hall (modelo 12).

C. fissilis

Los resultados del ajuste y validación de las funciones de volumen para la especie Cedro se encuentran detalladas en el anexo 4. Del análisis para las funciones de volumen de fuste, los mejores indicadores de ajuste se manifestaron en los modelos 3, 4, 9 y 12. Al efectuar el análisis del sesgo de los modelos dentro de cada clase diamétrica, se muestra que existe una tendencia a la sobreestimación dentro de las tres primeras clases en promedios que no superan el 10 % error. Dentro de la última clase los modelos presentaron una tendencia a la subestimación del 16,2 % para el modelo 3 y 16,75 % para el modelo 9; mientras que los modelos 4 y 12 no superaron el 12 % de error de estimación del volumen de fuste. Dentro de la última clase estudiada la muestra de validación se encuentra conformada por un único dato, por lo que sería recomendable ampliar la muestra para esta clase y reevaluar el comportamiento del error (Figura 11).

Del análisis gráfico del proceso de validación y ponderando los resultados expresados en el anexo 4, se concluye que los mejores modelos para estimar el volumen de fuste de *C. fissilis* son el de Spurr (modelos 3 y 9), Schumacher-Hall (modelo 12).

Figura 11. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de *C. fissilis*, distribuidos por clases diamétricas. Modelos 3, 4, 9 y 12. Las barras indican desviación estándar



B. riedelianum

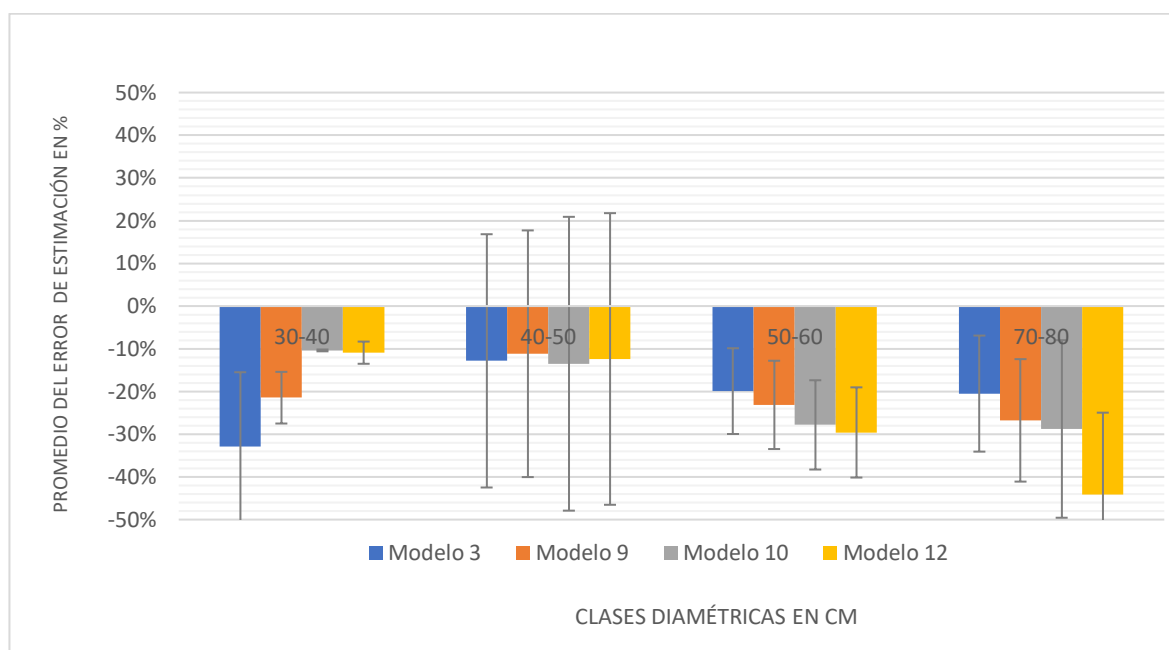
Los resultados del ajuste y validación de las funciones de volumen para la especie Guatambú blanco se encuentran detalladas en el anexo 5. Del análisis para las funciones de volumen de fuste, los mejores indicadores de ajuste se registraron en los modelos 3, 9, 10 y 12. Al efectuar el análisis del sesgo de los modelos dentro de cada clase diamétrica, se muestra que existe una tendencia a la sobreestimación para todas las clases en los 4 modelos preseleccionados. Por otro lado, para esta especie se registraron valores altos de error promedio, que estuvieron en el rango del 10 al 44 %, perteneciendo este último valor al modelo 12 de la clase de dap 70-80 cm (Figura 12).

Del análisis gráfico del proceso de validación y ponderando los resultados expresados en el anexo 5, se concluye que el mejor modelo para estimar el volumen de fuste de *B. riedelianum* es el de Spurr (modelo 3).

Para el área de influencia de la RBY, en un estudio realizado para las especies *B. riedelianum* y *M. campestris*, se ha determinado que los modelos logarítmicos de Spurr y Schumacher-Hall pueden ser empleados para predecir el volumen de fuste de dichas especies Bulman (2019). Del análisis de los resultados de validación, las funciones determinadas por el autor tienden a sobrestimar el volumen de fuste para las especies consideradas.

Niro Higuchi, 1978 determinó que la ecuación de variable combinada de Spurr es un instrumento seguro para la determinación del volumen de guatambú blanco, cedro, cañafistola y las especies forestales del género *Nectandra* y *Ocotea*; en la región oeste del estado paranaense.

Figura 12. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de *B. riedelianum*, distribuidos por clases diamétricas. Modelos 3, 9, 10 y 12. Las barras indican desviación estándar

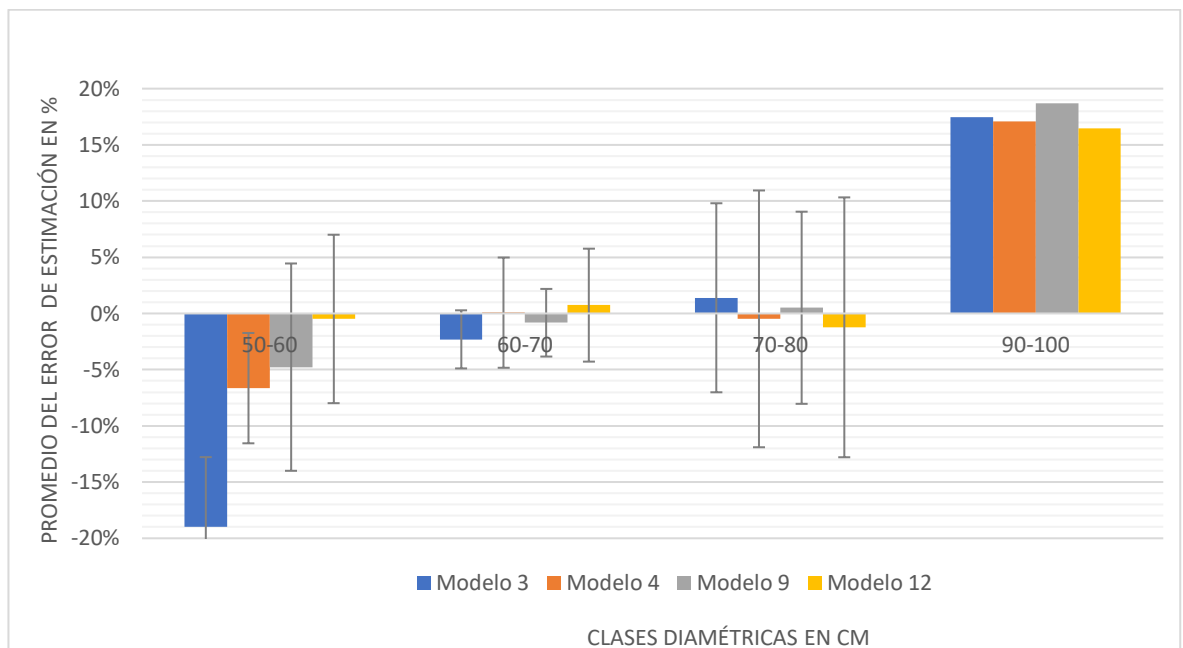


C. americana

Los resultados del ajuste y validación de las funciones de volumen para la especie Guayubira se encuentran detalladas en el anexo 6. Del análisis para las funciones de volumen de fuste, los mejores indicadores de ajuste se manifestaron en los modelos 3, 4, 9 y 12. Al efectuar el análisis del sesgo de los modelos dentro de cada clase de diámetro, se evidencia una tendencia a la sobreestimación dentro de la primer clases en promedios que no superan el 19 % error para el caso del modelo 3; y menor al 10 % promedio para los modelos 4, 9 y 12. Dentro de la clase 60-70 cm de dap los modelos 3 y 9 presentaron una tendencia a la sobreestimación que no supera el 3 % de error promedio; mientras que los modelos 4 y 12 no superaron el 1 % de error de estimación del volumen de fuste tendiendo a la subestimación. Dentro de la última clase estudiada la muestra de validación se encuentra conformada por un único dato, por lo que sería recomendable ampliar la muestra para esta clase y reevaluar el comportamiento del error, que para este caso alcanza un promedio del 18,7 % en el modelo 9. Todos los modelos en esta clase tienden a subestimar el volumen de fuste (Figura 13).

Del análisis grafico del proceso de validación y ponderando los resultados expresados en el anexo 6, se concluye que los mejores modelos para estimar el volumen de fuste de *C. americana* son el de Spurr (modelo 9) y el de Schumacher-Hall (modelo 12).

Figura 13. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de *C. americana*, distribuidos por clases diamétricas. Modelos 3, 4, 9 y 12. Las barras indican desviación estándar

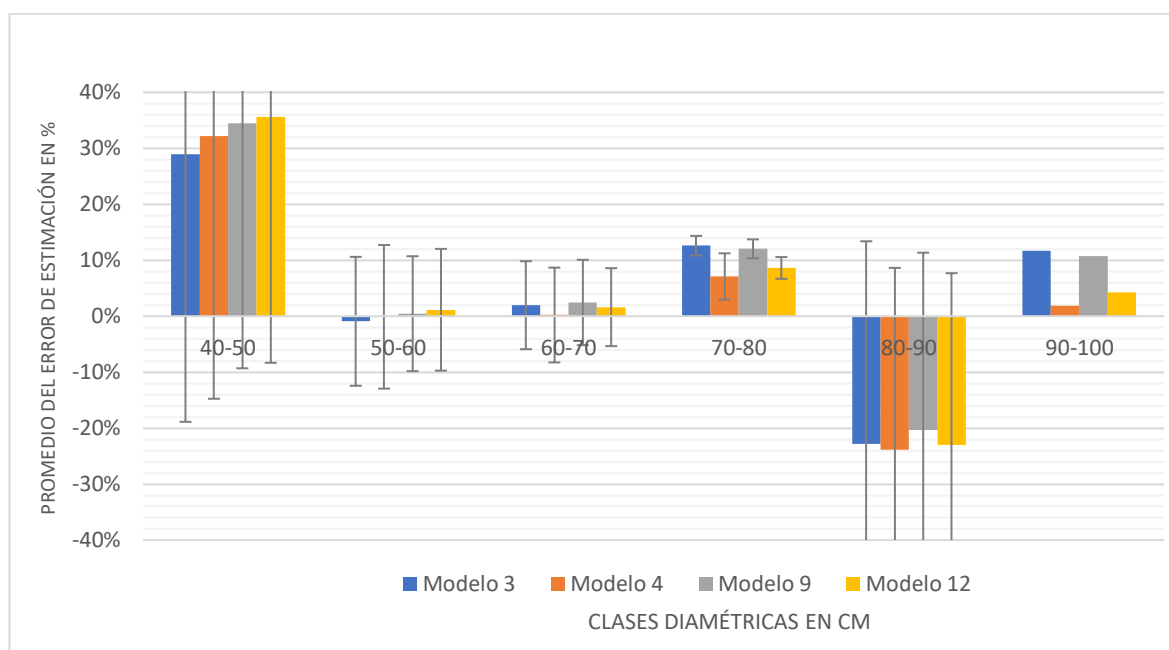


M. frondosus

Los resultados del ajuste y validación de las funciones de volumen para la especie Incienso se encuentran detalladas en el anexo 7. Del análisis para las funciones para predecir el volumen de fuste, los mejores indicadores de ajuste se manifestaron en los modelos 3, 4, 9 y 12. Al efectuar el análisis del sesgo de los modelos dentro de cada clase de diámetro, se evidencia una tendencia a la sobreestimación solamente dentro de la clase 80-90 cm en promedios que no superan el 24 % de error para el caso del modelo 4; y el 20 % promedio para el modelo 9. En las demás 5 clases diamétricas de la especie la tendencia del sesgo del volumen de fuste predicho es hacia a subestimación. Para la primera clase de análisis, el error es superior al 28 % promedio, disminuyendo el error en las demás clases de dap. Dentro de la última clase estudiada la muestra de validación se encuentra conformada por un único dato, que para este caso alcanza un promedio del 11,7 % en el modelo 3 (Figura 14).

Del análisis gráfico del proceso de validación y ponderando los resultados expresados en el anexo 7, se concluye que los mejores modelos para estimar el volumen de fuste de *M. frondosus* son el de Spurr (modelos 3 y 9) y el de Schumacher-Hall (modelo 12).

Figura 14. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de *M. frondosus*, distribuidos por clases diamétricas. Modelos 3, 4, 9 y 12. Las barras indican desviación estándar

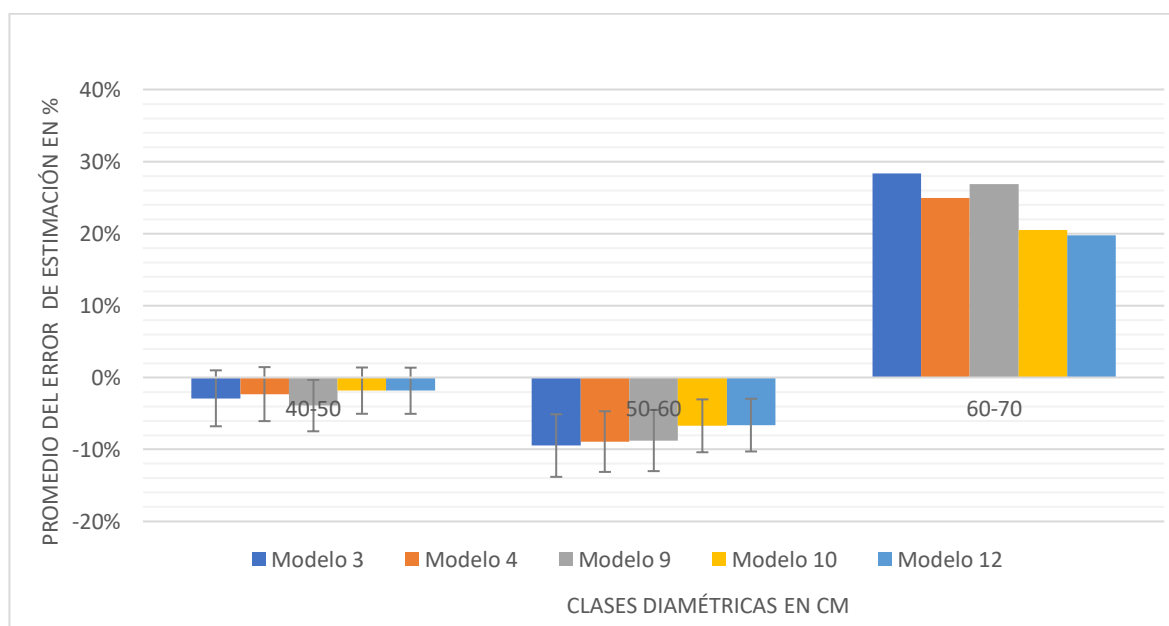


B. densiflora

Los resultados del ajuste y validación de las funciones de volumen para la especie Loro blanco se encuentran detalladas en el anexo 8. Del análisis para las funciones para predecir el volumen de fuste, los mejores indicadores de ajuste se manifestaron en los modelos 3, 4, 9, 10 y 12. Al efectuar el análisis del sesgo de los modelos dentro de cada clase de diámetro, se evidencia una tendencia a la sobreestimación en las dos primeras clases con promedios que no superan el 10 % de error para el caso del modelo 3. En la última clase diamétrica de la especie la tendencia del sesgo del volumen de fuste predicho es hacia a subestimación en donde la muestra de validación se encuentra conformada por un único dato, el cual arroja un error de estimación del 28,3 % en el modelo 3 y 19,7 % en el modelo 12 (Figura 15).

Del análisis gráfico del proceso de validación y teniendo en consideración los resultados expresados en el anexo 8, se concluye que el mejor modelo para estimar el volumen de fuste de *B. densiflora* es el de Schumacher-Hall (modelo 12).

Figura 15. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de *B. densiflora*, distribuidos por clases diamétricas. Modelos 3, 4, 9, 10 y 12. Las barras indican desviación estándar

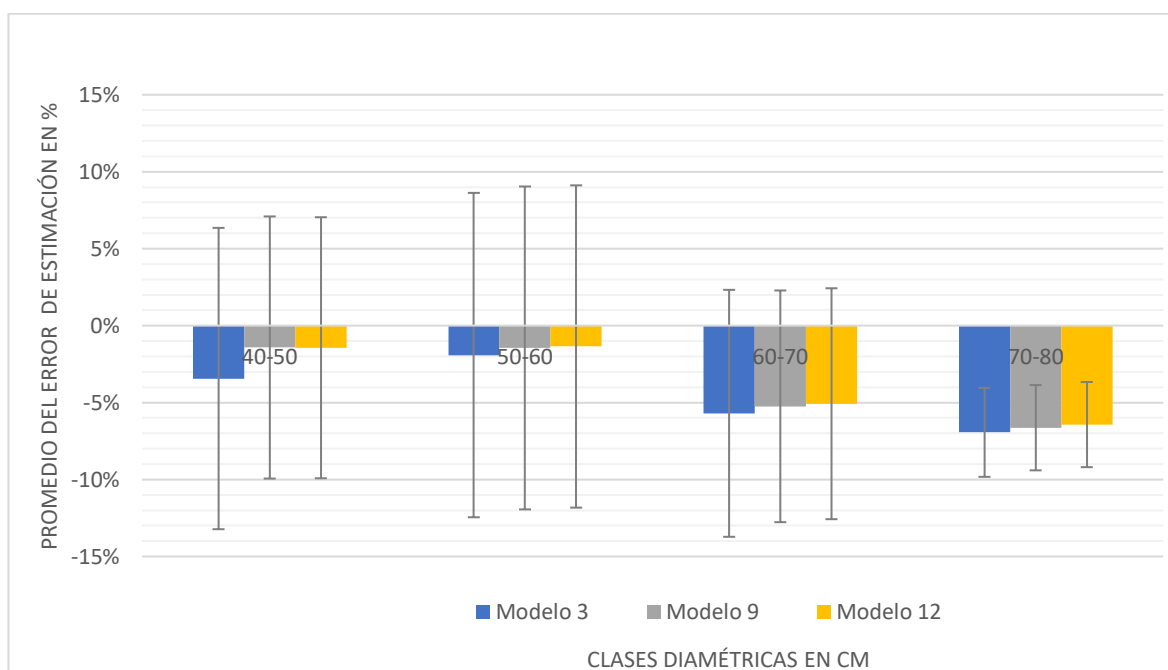


N. angustifolia

Los resultados del ajuste y validación de las funciones de volumen para la especie Laurel negro se encuentran detalladas en el anexo 9. Del análisis para las funciones para predecir el volumen de fuste, los mejores indicadores de ajuste se manifestaron en los modelos 3, 9, y 12. Al efectuar el análisis del sesgo de los modelos dentro de cada clase de diámetro, se evidencia una tendencia a la sobreestimación en las tres clases con promedios que no superan el 7 % de error para el caso del modelo 3 en la clase 70-80 cm. Los tres modelos se comportan satisfactoriamente en la estimación del volumen de fuste (Figura 16).

Del análisis gráfico del proceso de validación y teniendo en consideración los resultados expresados en el anexo 9, se concluye que los tres modelos (3, 9 y 12) pueden utilizarse para estimar el volumen de fuste de *N. angustifolia*.

Figura 16. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de *N. angustifolia*, distribuidos por clases diamétricas. Modelos 3, 9 y 12. Las barras indican desviación estándar

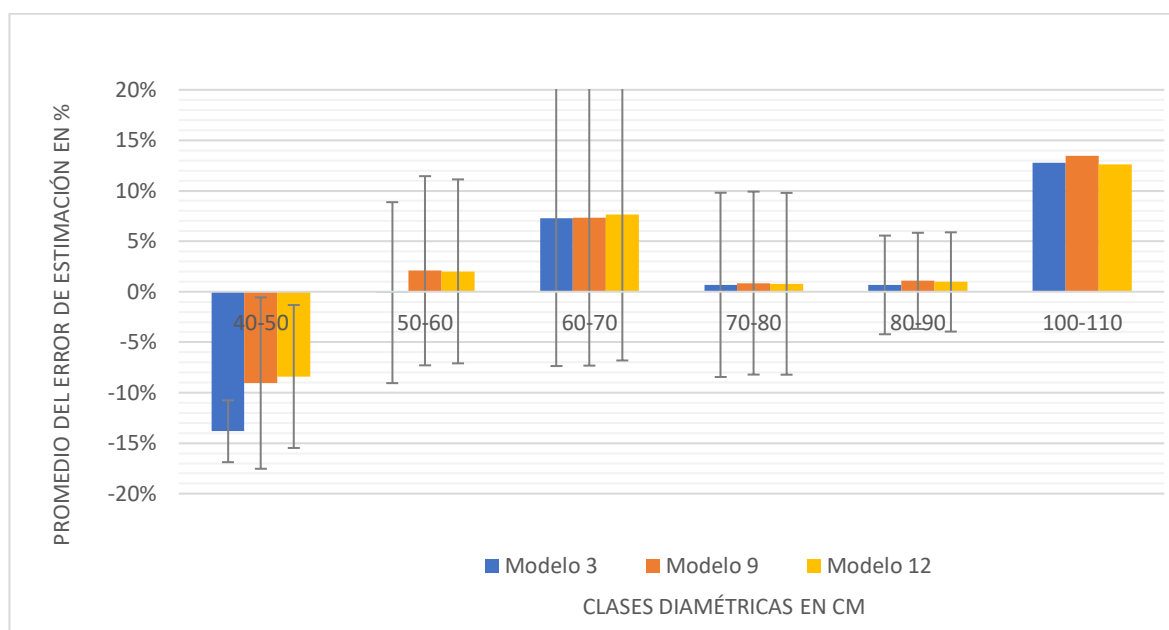


O. diospyrifolia

Los resultados del ajuste y validación de las funciones de volumen para la especie Laurel ayuí se encuentran detalladas en el anexo 10. Del análisis para las funciones para predecir el volumen de fuste, los mejores indicadores de ajuste se manifestaron en los modelos 3, 9, y 12, similar que la especie Laurel negro. Al efectuar el análisis del sesgo de los modelos dentro de cada clase de diámetro, se evidencia una tendencia a la sobreestimación únicamente en la primera con promedios que no superan el 14 % de error para el caso del modelo 3. En las demás clases diamétricas la tendencia es hacia la subestimación del volumen de fuste, con errores promedio que no superan el 14 % en individuos con un dap superior a 100 cm de dap (Figura 17).

Del análisis gráfico del proceso de validación y teniendo en consideración los resultados expresados en el anexo 10, se concluye que los tres modelos (3, 9 y 12) pueden utilizarse para estimar el volumen de fuste de *O. diospyrifolia*.

Figura 17. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de *O. diospyrifolia*, distribuidos por clases diamétricas. Modelos 3, 9 y 12. Las barras indican desviación estándar



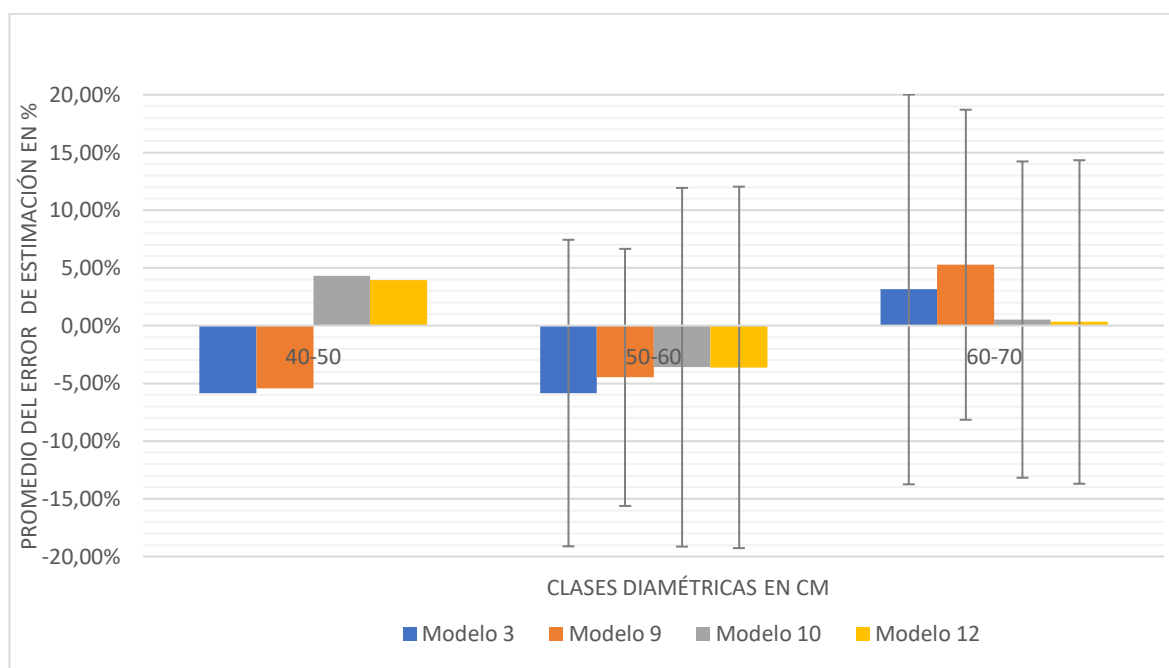
C. trichotoma

Los resultados del ajuste y validación de las funciones de volumen para la especie Loro negro se encuentran detalladas en el anexo 11. Del análisis para las funciones para predecir el volumen de fuste, los mejores indicadores de ajuste se manifestaron en los modelos 3, 9, 10 y 12. Al efectuar el análisis del sesgo de los modelos dentro de cada clase de diámetro, se evidencia una tendencia a la sobreestimación en la primera con promedios que no superan el 6 % de error para las ecuaciones de Spurr (modelos 3 y 9). En la misma clase y para los modelos 10 y 12, se evidencia subestimación con errores promedios inferiores al 5 %.

En la clase 50-60 cm la tendencia es hacia la sobreestimación del volumen de fuste, con errores promedio que no superan el 6 %. En individuos con un dap superior a 60 cm de dap, el volumen de fuste predicho tiende a la subestimación con errores promedios aceptables (Figura 18).

Del análisis gráfico del proceso de validación y teniendo en cuenta los resultados expresados en el anexo 11, se concluye que los modelos logarítmicos de Spurr y Schumacher-Hall (9 y 12) pueden utilizarse para estimar el volumen de fuste de *C. trichotoma*.

Figura 18. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de *C. trichotoma*, distribuidos por clases diamétricas. Modelos 3, 9, 10 y 12. Las barras indican desviación estándar



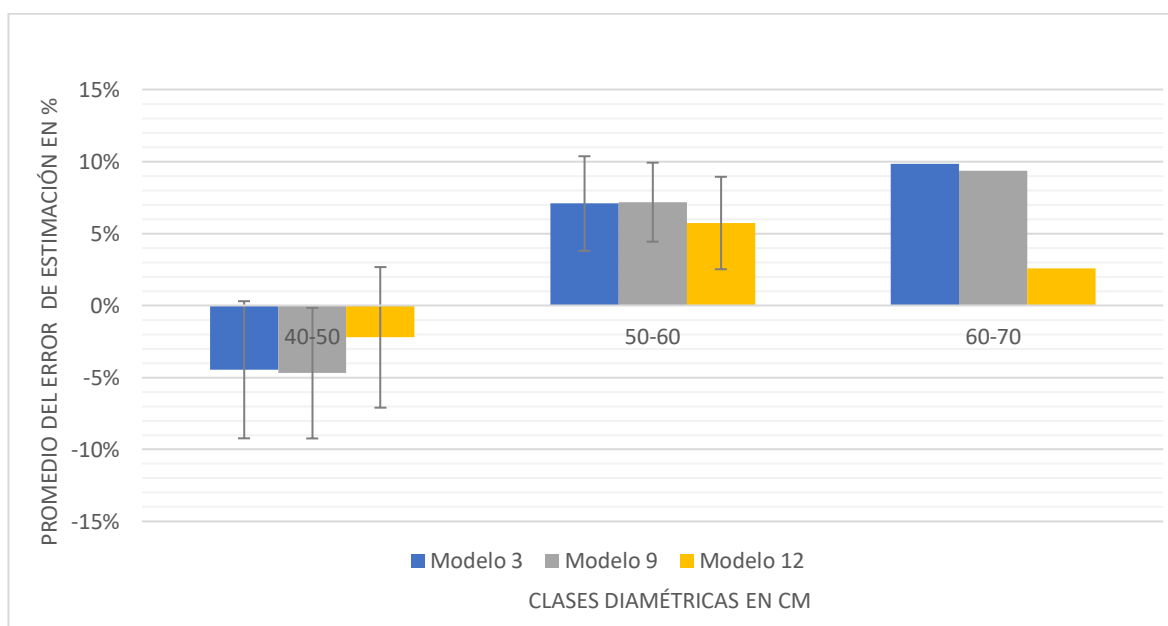
M. campestris

Los resultados del ajuste y validación de las funciones de volumen para la especie *Rabotita* se encuentran detalladas en el anexo 12. Del análisis para las funciones para predecir el volumen de fuste, los mejores indicadores de ajuste se manifestaron en los modelos 3, 9 y 12. Al efectuar el análisis del sesgo de los modelos dentro de cada clase de diámetro, se evidencia una tendencia a la sobreestimación en la primera con promedios que no superan el 5 % de error.

A partir de la clase 50-60 cm de dap la tendencia es hacia la subestimación del volumen de fuste, con errores promedio que no superan el 10 (Figura 19).

Del análisis gráfico del proceso de validación y teniendo en cuenta los resultados expresados en el anexo 12, se concluye que los modelos de Spurr y Schumacher-Hall (3, 9 y 12) pueden utilizarse para estimar el volumen de fuste de *M. campestris*.

Figura 19. Promedios del error de estimación del volumen de fuste de *M. campestris*, distribuidos por clases diamétricas. Modelos 3, 9 y 12. Las barras indican desviación estándar



CONCLUSIONES

El proceso de ajuste y validación de las funciones de volumen de fuste para las 12 especies analizadas permite concluir que el modelo 12 de Schumacher-Hall y los modelos 3 y 9 de Spurr, han demostrado un desempeño superior, y pueden ser utilizados en el análisis de datos de inventarios forestales dentro del área de influencia de donde proviene la muestra. En cuarto lugar, se destaca el modelo de Ogaya, con buen comportamiento en general frente a los modelos sin transformación del volumen de fuste. Al compararlo con los modelos logarítmicos, los valores promedios de error absoluto se encuentran en su gran mayoría por debajo del 15 % para las clases diamétricas evaluadas.

De lo anterior se desprende que las funciones que incluyen al dap y a la altura de fuste; predicen de una forma más precisa el volumen de fuste; respecto a aquellas que solamente incluyen al dap, o alguna de sus transformaciones.

Del análisis gráfico de los errores de predicción de los modelos para las especies de *B. Riedelianum* y *M. Frondosus*, han sido los que mayor error promedio manifestaron.

Si se pretende utilizar las ecuaciones, para predecir el volumen de datos provenientes de otras zonas, y de clases diamétricas y/o alturas diferentes a lo expresado en la tabla 2; se recomienda analizar cuidadosamente los resultados y evaluar la pertinencia de su uso para esos casos.

Para finalizar, si bien se han cumplido los objetivos propuestos para el estudio, sería interesante continuar con esta línea de investigación en otras áreas de la provincia incorporando más especies forestales, ampliando las clases diamétricas y clases de alturas de fuste, como así también el análisis de la relación dap/altura.

BIBLIOGRAFÍA

- AZEVEDO, T. L.; Mello A.; Ferreira, R.; Sanquetta, C; Nakajima, N. 2011. Equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de *Eucalyptus* sp. localizado na FLONA do Ibura, Sergipe. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* (Agrária), Recife, 6(1):105-112. DOI: <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v6i1a861>.
- BOECHAT SOARES, C. P.; Martins, F. B.; Leite Junior, H. U.; Fernandes da Silva, G.; Moreira de Figueiredo, L. T. 2011. Equações Hipsométricas, Volumétricas e de Taper Para Onze Espécies Nativas. *Revista Árvore*, Viçosa-MG 35(5):1039-1051.
- BOHREN, A., Gartland, H., Keller, H., Grance, L. 2007. Ficha Técnica. Árboles de Misiones: *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud. *Revista Yvyretá*, 14:51-55.
- BOHREN, A., Grance, L., Gartland, H., Pozskus, P., Küppers, G. 2012. Ficha Técnica. Árboles de Misiones: *Luehea divaricata* Mart. *Revista Yvyretá*, 19:51-54.
- BULMAN, C. 2019. Funciones de volumen para dos especies comerciales de la selva misionera. FCF. UNaM.
- BURKART, R.; Cinto, J. P.; Chébez, J. C.; García Fernandez, J.; Jäger, M.; Riegelhaupt, E. 2001. La Selva Misionera. Opciones para su conservación y uso sustentable. FUCEMA.
- CABRERA, A. L. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, Tomo II, Fascículo 1, Ed. Acme, Buenos Aires, 85 pp.
- CAMPANELLO, P. I.; Von Below, J.; Hilgert, N. I.; Cockle, K. L.; Villagra, M.; et al.; ¿Es posible el uso sustentable del bosque en Misiones? Necesidades de manejo a diferentes escalas, investigación, intervenciones de alto impacto, y más recursos económicos; Asociación Argentina de Ecología; *Ecología Austral*; 29; 1; 4-2019; 122-137.
- CANCINO, J. (2006). Dendrometría básica. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales. Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente. Concepción, Chile. 163 p. http://repositorio.udec.cl/xmlui/bitstream/handle/11594/407/Dendrometria_Basica.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- CARABELLI, F., Bava, J., Momberg, F., Cordone, V. 2004. Estimación de volumen maderable en bosques de Lengua (*Nothofagus pumilio*) en la región patagónica de Argentina. *Revista Bosque* 25(3): 3-9.

- CARVALHO, P. E. 2004. Circular Técnica. Pau-Marfim - *Balfourodendron riedelianum*. Embrapa Florestas, 93:1-11. ISSN 1517-5278. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/41449/1/circ-tec93.pdf>
- CHICHORRO, J. F.; Pereira Resende, J. L.; Garcia Leite, H. 2003. Equações de Volume e de Taper para Quantificar Multiprodutos da Madeira em Floresta Atlântica. *Revista Arvore*. 27 (6):799-809.
- COSTAS, R.; Loran, D.; Fosco, I.; Vera, N.; Lopez Cristóbal, L.; González, J.E. 2006a. Funciones de Volumen para especies de bosque secundario de la Reserva Guaraní. Misiones, Argentina. *Revista FCA UNCuyo*. 38(2):49-57.
- COSTAS, R.; Friedl, R. A.; González, J.; Fosco, I.; Kubsch, H. A.; Korth, S. M. 2006b. Funciones de volúmenes del híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. 12º Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. FCF Eldorado – INTA EEA Montecarlo. Eldorado, Misiones. 10 p. Disponible en CD.
- CRECHI E., Moscovich, F.; Fassola, H.; Hennig, A.; Hampel, H.; Domecq, C.; Maletti, C. 2003. Tabla de Volumen para *Grevillea robusta* A. En Misiones, Argentina. Decimas Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNAM-EEA Montecarlo-INTA. Eldorado, Misiones.
- CRECHI E., Moscovich, F.; Fassola, H.; Hennig, A.; Hampel, H.; Domecq, C.; Maletti, C. 2008. Desarrollo de una ecuación de volumen para *Grevillea robusta* A. En Misiones, Argentina. *Revista Yvyrareta*, 15:14-21.
- DAUBER, E. 1997. Propuesta para la Elaboración de Tablas Volumétricas y/o Factores de Forma. Documento Técnico 54/1997. Proyecto BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia. 16 pp.
- DAUBER, E. 2001. Tablas Volumétricas del Fuste Aprovechable de Diferentes Especies con Base en Mediciones de Trozas en Rodeo y Aserradero. Documento Técnico 101/2001. Proyecto BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia. 52 pp.
- DA SILVA JÚNIOR, A. T. 2009. Equação de volume e fator de forma para árvores de *schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Duckering) Barneby (Paricá) no município de Aurora do Pará, (1):1-8.
- DI BITETTI, M.S; Placci, G; y Dietz, L.A. 2003. Una Visión de Biodiversidad para la Ecorregión del Bosque Atlántico del Alto Paraná: Diseño de un Paisaje para la Conservación de la Biodiversidad y prioridades para las acciones de conservación. Washington, D.C., World Wildlife Fund.

- DI RIENZO J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- DUMMEL, C., Grance, L., Bohren, A., Gartland, H., Keller, H., Miranda, D. 2003. Ficha Técnica. Árboles de Misiones: *Patagonula americana* L. *Revista Yvyrareta*, 11:74-77.
- FICHA TECNICA. Árboles de Misiones. *Myrocarpus frondosus* Fr. Allem. 1993. *Revista Yvyrareta*, 4:24-25.
- FORNASO DAVICO, M. G. 2011. Analisis de cosecha en bosques nativos en la Reserva de Biosfera Yabotí, Misiones. Integradora Final de Grado. FCF, UNaM. 28 pp.
- FRIEDL, R.A. 1996. Proyecto de investigación Construcción de tablas de volúmenes para especies comerciales de la Selva Misionera. Instituto Subtropical de Investigaciones Forestales. Facultad de Ciencias Forestales UNaM. 10 pp.
- FRIEDL, R.A.; Muñoz, D.A.; Morales, A. 1991a. Tabla de volumen local para *Pinus caribaea* Mor. var. *caribaea* en Puerto Esperanza, Misiones, Argentina. En: Jornadas sobre Pinus Caribaea. Eldorado. Actas, pp. 174-183.
- FRIEDL, R.A.; Costas, R.A.; Maiocco, D.C.; Grance, L.A.; Palavecino, J.A. 1991b. Construcción de tablas de volúmenes estándares para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. En: VI Jornadas Técnicas Inventarios-Modelos de crecimiento y producción forestales. Eldorado. Actas, pp. 57-68.
- FUCARACCIO, F.; Staffieri, G. M.; Wabo, E. 1999. Desarrollo y Uso de Ecuaciones de Volumen y Tablas de Volumen en la República Argentina. Informe Técnico. UNLP. 26 pp.
- GARCÍA, O. 1995. Apunte de Mensura forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad austral de Chile. 65pp.
- GEZAN, S. A.; Moreno, P. C.; Ortega, A. 2009. Modelos fustales para renovales de roble, raulí y coigue en Chile. *Revista Bosque*, 30(2):61-69.
- GARIBALDI, J.; rivero, L.; Mac Donagh, P. 2000. Structure, floristic composition and spatial distribution of tree species in an unlogged forest of the Alto Paraná Atlantic Forest in: Mac Donagh, P. Forest harvesting impacts evaluation on forest ecosystems final report for phase I. FCF. UNaM. CIFOR. 70 p.
- GARTLAND, H. M., Bohren, A. 1994. Ficha Técnica. Árboles de Misiones: *Bastardiopsis densiflora* (Hook et Arn) Hassl. *Revista Yvyrareta*, 5:25-28.

- GARTLAND, H. M., Bohren, A., Grance, L., Vogel, H., Cabral, J. 1995. Ficha Técnica. Árboles de Misiones: *Parapitadenia rigida* (Bentham) Brenan. *Revista Yvyrareta*, 6:63-72.
- GARTLAND, H. M., Vogel, H., Bohren, A., Grance, L., Cabral, J. 1996. Ficha Técnica. Árboles de Misiones: *Cedrela fissilis* Vellozo. *Revista Yvyrareta*, 7:38-41.
- GARTLAND, H. M., Bohren, A. 2008. Demonología especial: especies forestales de Argentina (pp. 56-57). 1a ed. Posadas: EdUNaM - Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones. https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos_digitales/f3_978-950-579-095-1x.pdf
- GRANCE, L., Poszkus, P., Küppers, G., Aguilera, A., Bohren, A. 2015. Ficha Técnica. Árboles de Misiones: *Lonchocarpus campestris* Mart.ex Benth. *Revista Yvyrareta*, 22:75-77. <http://www.yvyrareta.com.ar/index.php/component/k2/item/31-arboles-de-misiones>
- GUERRA, W. 2007. Elaboración de Tabla de Volumen Comercial de Bolaina Blanca (*Guazuma crinita* Mart.) procedente de una Plantación Experimental con diferentes anchos de fajas de Alexander Von Humboldt, Ucayali, Perú. Tesis de Grado de la Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa (Perú), 85 pp.
- HERNÁNDEZ-RAMOS, J., Hernández-Ramos, A., García-Cuevas, X., Tamarit-Urias, J.C., Martínez-Ángel, L., & García-Magaña, J. (2018). Ecuaciones de volumen total y de razón para estimar el volumen comercial de *Swietenia macrophylla* King. *Colombia Forestal*, 21(1), 34-46
- MACHADO CARCASÉS, A; Pereira, N. A. Ríos. 2003. Tabla de volumen para *Buchenavia capitata*, Vahl E. *Quebracho*, 10:76-82
- MAGGIO, A. D., Cellini, J. M. 2018. Recopilación de ecuaciones de volumen y biomasa de especies forestales de la República Argentina. https://www.researchgate.net/publication/329131150_Recopilacion_de_ecuaciones_de_volumen_y_biomasa_de_especies_forestales_de_la_Republica_Argentina
- MARTÍNEZ PASTUR, G. J. 2005. Biometría y Producción Forestal para Bosques Naturales de *Nothofagus pumilio* en Tierra del Fuego. (4):10-19.
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA NACIÓN (2020). Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos: informe Selva Paranaense: primera revisión. Buenos Aires: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación.

- MORET, A.Y.; Ortíz, A.; Perez, Y.; Quijada, M.; Jerez, M. 2007. Ecuaciones de Volumen para Árboles de Samán (*Samanea saman* (jacq.) Merr.), provenientes de potreros en el Municipio Machiques de Perijá, Estado Zulia, Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 51(1):87-96.
- NIRO HIGUCHI, M. 1978. Tabelas de volume para povoamentos nativos de canafístula (leguminosae), cedro (meliaceae), pau marfim (rutaceae) e canelas (lauraceae), no extremo oeste paranaense. Curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal Do Paraná.
- OYARZÚN LILLO, C. J. 2008. Construcción de un modelo fustal para Lengua *Nothofagus pumilio* (Poepp. Et Endl), en la XII Región. Tesis de Grado de la Universidad de Chile. Santiago (Chile).
- PEREZ, V.R. (2021). Evaluación de la estructura y del manejo de la densidad de tres plantaciones mixtas de *Melia azedarach* y *Grevillea robusta* en Misiones, (Argentina). [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Santiago del Estero]. <https://fcf.unse.edu.ar/wp-content/uploads/2014/07/14-PEREZ-V-2021-Tesis-Doctoral-Estructura-y-manejo-FCF-UNSE-ebook.pdf>
- PRODAN, M.; Peters, R.; Cox, F.; Real P. 1997. Mensura forestal. San José de Costa Rica. IICA/GTZ. 561 p.
- PROGRAMA ECO 2. 2022. Ciclo de capacitaciones y diálogo multiactores del Programa Jurisdiccional REDD+ de la Provincia de Misiones.
- SCHUMACHER, F. X.; Hall, F. S. 1933. Logarithmic expression of timber-tree volume. *Journal of Agricultural Research*, 47(9):719-734.
- SECRETARÍA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE (SAyDS) (2005). Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos: Informe Nacional. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas, Buenos Aires.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO SUSTENTABLE Y POLITICA AMBIENTAL (SDSyPA). 2001. Manual de Análisis de Fustes. Anexo 1. Modelos de Volumen. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas. BIRF 4085-AR
- SEVOLA, Y. 1975. Cubicación de árboles en el inventario forestal del noroeste argentino. Documento de trabajo N°20. FAO: DP/ ARG/70/536. Salta, Argentina.
- SPURR, S. 1952. Forest inventory. New York: The Ronald Press, 476 pp.
- TONINI, H., & Schwengber, L. A. M. 2006. Equações Hipsométricas e Volumétricas para *Acacia mangium* Willd em Roraima. *Ambiência - Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais*, 2(2):155-165.

- VALENZUELA CASTILLO, C. M. 2017. Funciones de volumen fustal y biomasa aérea total y de componentes a nivel de árbol individual para renovales de roble, raulí y coigüe. Tesis doctoral. Universidad de Concepción. Chile.
- VANCLAY, J. 1994. Model evaluation and re-calibration. En: Modelling Forest Growth and Yield. Applications to Mixed Tropical Forest. CAB International. Pp. 204-221.

ANEXOS

Anexo 1. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste y validación para la estimación del volumen de fuste para *P. rígida*

Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	Prueba F	R ² Aj	ECMP	AIC	Syx	Furn.	IA (%)	D(m ³)	S(m ³)	RCME(m ³)
1	-1,628	5,452	-	-	-	-	F(1,267)=349,255 p<0,0001	0,565	0,439	540,843	0,662	-	64,1%	0,544	0,513	0,748
2	-0,105(*)	0,461	-	-	-	-	F(1,267)=695,941 p<0,0001	0,722	0,283	420,780	0,525	-	75,6%	0,437	0,435	0,616
3	0,264	0,529	-	-	-	-	F(1,267)=3035,351 p<0,0001	0,919	0,083	89,265	0,284	-	95,7%	0,187	0,177	0,257
4	0,145(*)	0,577	0,480	-	-	-	F(2,266)=1671,897 p<0,0001	0,926	0,077	66,310	0,271	-	96,5%	0,163	0,165	0,232
5	0,361(*)	-0,495(*)	0,833(*)	-0,013(*)	0,498	-	F(4,264)=831,145 p<0,0001	0,925	0,078	69,866	0,272	-	96,5%	0,163	0,166	0,232
6	0,141(*)	-0,486(*)	0,760	-0,025	0,009(*)	-	F(4,264)=918,742 p<0,0001	0,932	0,074	44,805	0,260	-	96,8%	0,161	0,157	0,225
7	-0,924(*)	2,932(*)	-1,398(*)	-0,521(*)	0,831(*)	0,189(*)	F(5,263)=667,276 p<0,0001	0,926	0,079	70,036	0,272	-	96,5%	0,162	0,169	0,234
8	1,349	1,753	-	-	-	-	F(1,267)=380,318 p<0,0001	0,586	0,079	78,951	0,278	0,577	64,3%	0,539	0,516	0,746
9	-0,360	0,889	-	-	-	-	F(1,267)=3932,779 p<0,0001	0,936	0,012	-424,066	0,109	0,226	95,5%	0,195	0,180	0,265
10	-0,162(*)	-0,099(*)	0,845	-	-	-	F(2,266)=2014,723 p<0,0001	0,938	0,012	-429,134	0,108	0,224	96,0%	0,180	0,174	0,250
11	1,719(*)	1,190(*)	-0,392(*)	-	-	-	F(2,266)=190,298 p<0,0001	0,586	0,079	80,241	0,278	0,578	63,1%	0,542	0,530	0,758
12	-0,238	1,839	0,837	-	-	-	F(2,266)=2055,893 p<0,0001	0,939	0,012	-434,242	0,107	0,222	96,2%	0,173	0,171	0,243

b_i : coeficientes de regresión, (*) no significativo, R²Aj.: coeficiente de determinación ajustado, AIC: criterio de información de Akaike, Syx: error estándar de estimación, Furn.: índice de Furnival, IA: índice de ajuste; D: promedio de las diferencias absolutas entre el volumen de fuste estimado y el volumen de fuste observado (diferencia agregada); S: desvío estándar de D; RCME: raíz del cuadrado medio del error.

Anexo 2. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste y validación para la estimación del volumen de fuste para *C. gonocarpum*

Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	Prueba F	R ² Aj	ECMP	AIC	Syx	Furn.	IA (%)	D(m ³)	S(m ³)	RCME(m ³)
1	-1,886(*)	5,948(*)	-	-	-	-	F(1,10)=24,668 p>0,0001	0,683	0,128	9,485	0,306	-	29,5%	0,167	0,039	0,171
2	-0,205(*)	0,368	-	-	-	-	F(1,10)=151,06 p<0,0001	0,932	0,038	-8,946	0,142	-	-62,4%	0,227	0,142	0,267
3	0,191(*)	0,484	-	-	-	-	F(1,10)=110,148 p<0,0001	0,908	0,076	-5,430	0,165	-	36,3%	0,130	0,110	0,170
4	0,298(*)	-0,855(*)	0,545(*)	-	-	-	F(2,9)=51,096 p<0,0001	0,901	0,088	-3,764	0,171	-	36,3%	0,160	0,137	0,211
5	-2,397(*)	7,568(*)	-6,389(*)	0,477(*)	-0,179(*)	-	F(4,7)=34,817 p=0,0001	0,925	0,107	-6,070	0,149	-	-31,5%	0,221	0,083	0,236
6	-0,447(*)	4,975(*)	-0,398(*)	0,017(*)	0,011(*)	-	F(4,7)=31,85 p=0,0001	0,918	0,112	-5,055	0,156	-	3,2%	0,177	0,106	0,206
7	10,070(*)	-33,469(*)	26,810(*)	8,761(*)	-7,109(*)	-2,450(*)	F(5,6)=33,26 p>0,0001	0,936	0,110	-7,886	0,137	-	-20,6%	0,203	0,105	0,228
8	1,732(*)	2,502(*)	-	-	-	-	F(1,10)=20,214 p>0,0001	0,636	0,100	7,003	0,276	0,257	70,9%	0,089	0,073	0,115
9	-0,458	0,903	-	-	-	-	F(1,10)=101,356 p<0,0001	0,901	0,033	-8,650	0,144	0,134	34,3%	0,137	0,104	0,172
10	-0,699(*)	0,105(*)	0,957(*)	-	-	-	F(2,9)=46,268 p<0,0001	0,892	0,041	-6,806	0,151	0,140	20,4%	0,152	0,113	0,189
11	0,039(*)	7,3999(*)	2,521(*)	-	-	-	F(2,9)=9,847 p>0,0001	0,617	0,125	8,358	0,284	0,264	81,3%	0,054	0,079	0,096
12	-0,782(*)	1,611(*)	1,002	-	-	-	F(2,9)=46,913 p<0,0001	0,893	0,039	-6,958	0,148	0,138	7,9%	0,165	0,119	0,203

b_i : coeficientes de regresión, (*) no significativo, R²Aj.: coeficiente de determinación ajustado, AIC: criterio de información de Akaike, Syx: error estándar de estimación, Furn.: índice de Furnival, IA: índice de ajuste; D: promedio de las diferencias absolutas entre el volumen de fuste estimado y el volumen de fuste observado (diferencia agregada); S: desvío estándar de D; RCME: raíz del cuadrado medio del error.

Anexo 3. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste y validación para la estimación del volumen de fuste para *L. divaricata*

Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	Prueba F	R ² Aj	ECMP	AIC	Syx	Furn.	IA(%)	D(m ³)	S(m ³)	RCME(m ³)
1	-2,391(*)	5,879(*)	-	-	-	-	F(1,14)=28,462 p>0,0001	0,647	0,972	36,815	0,678	-	62,5%	0,409	0,360	0,545
2	-0,881(*)	0,725	-	-	-	-	F(1,14)=140,849 p<0,0001	0,903	0,348	16,113	0,355	-	-23,3%	0,625	0,787	1,005
3	0,069(*)	0,619	-	-	-	-	F(1,14)=1344,977 p<0,0001	0,989	0,035	-18,640	0,120	-	86,4%	0,189	0,278	0,336
4	0,070(*)	-0,005(*)	0,620	-	-	-	F(2,13)=624,469 p<0,0001	0,988	0,043	-16,640	0,124	-	86,3%	0,189	0,279	0,337
5	0,694(*)	-0,112(*)	-0,725(*)	-0,284(*)	0,935(*)	-	F(4,11)=385,687 p<0,0001	0,990	0,028	-18,641	0,112	-	93,9%	0,170	0,140	0,220
6	0,210(*)	-0,251(*)	0,624(*)	0,009(*)	-0,007(*)	-	F(4,11)=268,896 p<0,0001	0,986	0,089	-12,919	0,134	-	89,3%	0,189	0,227	0,295
7	-3,758(*)	11,766(*)	-8,676(*)	-2,178(*)	2,174(*)	0,728(*)	F(5,10)=334,347 p<0,0001	0,991	0,311	-19,433	0,108	-	90,8%	0,168	0,218	0,275
8	1,073	1,740(*)	-	-	-	-	F(1,14)=26,816 p=0,0001	0,633	0,131	10,250	0,295	0,443	62,0%	0,414	0,360	0,549
9	-0,325	0,889	-	-	-	-	F(1,14)=479,157 p<0,0001	0,970	0,011	-29,619	0,085	0,127	89,0%	0,192	0,231	0,300
10	-0,353(*)	0,014(*)	0,896	-	-	-	F(2,13)=222,813 p<0,0001	0,967	0,017	-27,643	0,088	0,133	88,4%	0,194	0,238	0,307
11	-1,302(*)	5,782(*)	2,612(*)	-	-	-	F(2,13)=18,328 p>0,0001	0,698	0,117	7,927	0,268	0,402	64,2%	0,338	0,423	0,541
12	-0,279(*)	1,807	0,868	-	-	-	F(2,13)=222,990 p<0,0001	0,967	0,017	-27,655	0,089	0,134	90,6%	0,182	0,208	0,276

b_i : coeficientes de regresión, (*) no significativo, R²Aj.: coeficiente de determinación ajustado, AIC: criterio de información de Akaike, Syx: error estándar de estimación, Furn.: índice de Furnival, IA: índice de ajuste; D: promedio de las diferencias absolutas entre el volumen de fuste estimado y el volumen de fuste observado (diferencia agregada); S: desvío estándar de D; RCME: raíz del cuadrado medio del error.

Anexo 4. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste y validación para la estimación del volumen de fuste para *C. fissilis*

Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	Prueba F	R ² Aj	ECMP	AIC	Syx	Furnival	IA(%)	D(m ³)	S(m ³)	RCME(m ³)
1	-1,488(*)	5,456	-	-	-	-	F(1,47)=50,736 p<0,0001	0,509	0,268	74,302	0,496	-	33,3%	0,518	0,350	0,626
2	0,056(*)	0,421	-	-	-	-	F(1,47)=98,663 p<0,0001	0,671	0,184	54,749	0,406	-	76,0%	0,290	0,239	0,376
3	0,146(*)	0,618	-	-	-	-	F(1,47)=668,717 p<0,0001	0,933	0,037	-23,258	0,183	-	85,6%	0,230	0,179	0,291
4	0,035(*)	0,636(*)	0,566	-	-	-	F(2,46)=376,827 p<0,0001	0,940	0,035	-27,746	0,173	-	85,8%	0,217	0,193	0,290
5	0,359(*)	0,784(*)	-1,438(*)	-0,261(*)	0,982(*)	-	F(4,44)=189,944 p<0,0001	0,940	0,059	-26,176	0,173	-	84,8%	0,230	0,191	0,299
6	0,290(*)	-0,342(*)	0,653(*)	0,013(*)	-0,010(*)	-	F(4,44)=194,947 p<0,0001	0,942	0,041	-27,381	0,171	-	84,7%	0,228	0,196	0,300
7	1,669(*)	-2,971(*)	1,153(*)	0,429(*)	0,507(*)	-0,241(*)	F(5,43)=151,246 p<0,0001	0,940	0,062	-25,024	0,173	-	84,8%	0,230	0,192	0,300
8	1,419	1,711	-	-	-	-	F(1,47)=38,556 p<0,0001	0,439	0,069	8,880	0,254	0,485	31,6%	0,520	0,363	0,634
9	-0,286	0,893	-	-	-	-	F(1,47)=615,226 p<0,0001	0,928	0,009	-91,396	0,092	0,175	85,4%	0,230	0,181	0,293
10	0,060(*)	-0,179(*)	0,833	-	-	-	F(2,46)=332,133 p<0,0001	0,932	0,009	-93,881	0,088	0,168	85,4%	0,221	0,194	0,294
11	2,165(*)	0,554(*)	-0,800(*)	-	-	-	F(2,46)=19,081 p<0,0001	0,429	0,073	10,716	0,257	0,489	33,1%	0,514	0,359	0,627
12	-0,109(*)	1,915	0,832	-	-	-	F(2,46)=330,145 p<0,0001	0,932	0,009	-93,606	0,089	0,170	85,3%	0,224	0,191	0,294

b_i : coeficientes de regresión, (*) no significativo, R²Aj.: coeficiente de determinación ajustado, AIC: criterio de información de Akaike, Syx: error estándar de estimación, Furn.: índice de Furnival, IA: índice de ajuste; D: promedio de las diferencias absolutas entre el volumen de fuste estimado y el volumen de fuste observado (diferencia agregada); S: desvío estándar de D; RCME: raíz del cuadrado medio del error.

Anexo 5. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste y validación para la estimación del volumen de fuste para *B. riedelianum*

Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	Prueba F	R ² Aj	ECMP	AIC	Syx	Furnival	IA (%)	D(m ³)	S(m ³)	RCME(m ³)
1	-0,649(*)	4,161	-	-	-	-	F(1,65)=87,438 p<0,0001	0,567	0,074	14,800	0,262	-	47,5%	0,265	0,218	0,343
2	0,127(*)	0,237	-	-	-	-	F(1,65)=81,408 p<0,0001	0,549	0,076	17,504	0,268	-	69,5%	0,193	0,177	0,262
3	0,297(*)	0,436	-	-	-	-	F(1,65)=172,717 p<0,0001	0,722	0,048	-14,970	0,210	-	72,6%	0,199	0,147	0,248
4	0,151(*)	1,695(*)	0,339	-	-	-	F(2,64)=102,784 p<0,0001	0,755	0,044	-22,433	0,197	-	57,2%	0,232	0,206	0,310
5	-1,294(*)	5,249(*)	-2,848(*)	0,144(*)	0,035(*)	-	F(4,62)=57,557 p<0,0001	0,770	0,044	-25,968	0,189	-	71,2%	0,197	0,160	0,254
6	0,319(*)	2,309(*)	0,069(*)	0,016(*)	-0,005(*)	-	F(4,62)=51,62 p<0,0001	0,754	0,049	-20,293	0,200	-	68,1%	0,208	0,168	0,267
7	0,232(*)	-0,674(*)	2,784(*)	0,753(*)	-0,554(*)	-0,154(*)	F(5,61)=46,202 p<0,0001	0,774	0,045	-25,008	0,189	-	69,7%	0,203	0,164	0,261
8	1,628	1,831	-	-	-	-	F(1,65)=149,916 p<0,0001	0,693	0,048	-13,659	0,212	0,246	32,5%	0,284	0,267	0,390
9	-0,471	0,888	-	-	-	-	F(1,65)=264,206 p<0,0001	0,800	0,032	-42,230	0,171	0,199	68,3%	0,210	0,164	0,266
10	0,483(*)	-0,328	0,593	-	-	-	F(2,64)=194,921 p<0,0001	0,855	0,023	-62,780	0,146	0,169	60,4%	0,223	0,198	0,298
11	1,856	-0,568(*)	-0,951(*)	-	-	-	F(2,64)=82,928 p<0,0001	0,713	0,047	-17,200	0,205	0,238	46,1%	0,264	0,226	0,348
12	0,331(*)	2,000	0,620	-	-	-	F(2,64)=183,315 p<0,0001	0,847	0,025	-59,263	0,148	0,172	41,2%	0,254	0,260	0,364

b_i : coeficientes de regresión, (*) no significativo, R²Aj.: coeficiente de determinación ajustado, AIC: criterio de información de Akaike, Syx: error estándar de estimación, Furn.: índice de Furnival, IA: índice de ajuste; D: promedio de las diferencias absolutas entre el volumen de fuste estimado y el volumen de fuste observado (diferencia agregada); S: desvío estándar de D; RCME: raíz del cuadrado medio del error.

Anexo 6. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste y validación para la estimación del volumen de fuste para *C. americana*

Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	Prueba F	R ² Aj	ECMP	AIC	Syx	Furnival	IA(%)	D(m ³)	S(m ³)	RCME(m ³)
1	-1,427(*)	4,982	-	-	-	-	F(1,30)=31,436 p<0,0001	0,495	0,263	47,573	0,479	-	62,8%	0,485	0,636	0,800
2	0,445(*)	0,357	-	-	-	-	F(1,30)=50,174 p<0,0001	0,613	0,199	39,055	0,419	-	78,7%	0,377	0,471	0,604
3	0,500(*)	0,482	-	-	-	-	F(1,30)=126,998 p<0,0001	0,803	0,105	17,549	0,299	-	93,6%	0,213	0,252	0,330
4	0,095(*)	1,349(*)	0,398	-	-	-	F(2,29)=91,247 p<0,0001	0,853	0,079	8,930	0,258	-	94,1%	0,185	0,260	0,319
5	-1,785(*)	3,777(*)	-0,198(*)	0,260(*)	0,034(*)	-	F(4,27)=45,778 p<0,0001	0,853	0,087	10,853	0,259	-	89,3%	0,227	0,366	0,431
6	-0,169(*)	1,050(*)	0,643(*)	-0,041(*)	0,021(*)	-	F(4,27)=46,014 p<0,0001	0,853	0,089	10,709	0,258	-	92,0%	0,203	0,313	0,373
7	-2,672(*)	6,323(*)	-2,012(*)	-0,452(*)	0,543(*)	0,246(*)	F(5,26)=35,408 p<0,0001	0,847	0,099	12,740	0,263	-	91,0%	0,215	0,331	0,395
8	1,369	1,926	-	-	-	-	F(1,30)=36,915 p<0,0001	0,537	0,073	5,147	0,247	0,486	67,7%	0,445	0,598	0,745
9	-0,224(*)	0,809	-	-	-	-	F(1,30)=187,969 p<0,0001	0,858	0,021	-32,643	0,137	0,269	93,6%	0,179	0,281	0,334
10	0,556(*)	-0,431(*)	0,668	-	-	-	F(2,29)=144,231 p<0,0001	0,888	0,017	-39,450	0,121	0,239	93,7%	0,180	0,276	0,330
11	3,929(*)	-2,133(*)	-2,777(*)	-	-	-	F(2,29)=19,599 p<0,0001	0,545	0,083	5,454	0,244	0,482	60,1%	0,446	0,702	0,831
12	0,165(*)	1,973	0,666	-	-	-	F(2,29)=123,835 p<0,0001	0,888	0,017	-39,359	0,122	0,241	94,5%	0,174	0,254	0,308

b_i : coeficientes de regresión, (*) no significativo, R²Aj.: coeficiente de determinación ajustado, AIC: criterio de información de Akaike, Syx: error estándar de estimación, Furn.: índice de Furnival, IA: índice de ajuste; D: promedio de las diferencias absolutas entre el volumen de fuste estimado y el volumen de fuste observado (diferencia agregada); S: desvío estándar de D; RCME: raíz del cuadrado medio del error.

Anexo 7. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste y validación para la estimación del volumen de fuste para *M. frondosus*

Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	Prueba F	R ² Aj	ECMP	AIC	Syx	Furnival	IA(%)	D(m ³)	S(m ³)	RCME(m ³)
1	-2,513	7,090	-	-	-	-	F(1,111)=150,794 p<0,0001	0,572	0,323	189,533	0,550	-	18,7%	0,534	0,422	0,680
2	-0,107(*)	0,395	-	-	-	-	F(1,111)=484,53 p<0,0001	0,812	0,146	96,659	0,365	-	61,0%	0,349	0,318	0,472
3	0,289	0,498	-	-	-	-	F(1,111)=1314,447 p<0,0001	0,921	0,066	-1,966	0,236	-	61,7%	0,257	0,392	0,469
4	0,130(*)	0,760(*)	0,456	-	-	-	F(2,110)=701,524 p<0,0001	0,926	0,064	-7,728	0,229	-	63,5%	0,232	0,395	0,458
5	0,580(*)	-2,988(*)	4,240(*)	0,191(*)	0,169(*)	-	F(4,108)=364,422 p<0,0001	0,929	0,080	-9,666	0,225	-	69,5%	0,221	0,355	0,419
6	-0,110(*)	0,988(*)	0,537	-0,020(*)	0,010(*)	-	F(4,108)=366,995 p<0,0001	0,929	0,079	-10,406	0,224	-	73,7%	0,221	0,319	0,389
7	0,194(*)	-1,840(*)	3,415(*)	0,019(*)	0,292(*)	0,058(*)	F(5,107)=289,07 p<0,0001	0,928	0,088	-7,751	0,226	-	69,2%	0,222	0,358	0,421
8	1,611	2,183	-	-	-	-	F(1,111)=132,349 p<0,0001	0,540	0,081	36,015	0,279	0,466	23,0%	0,538	0,386	0,662
9	-0,374	0,873	-	-	-	-	F(1,111)=1675,419 p<0,0001	0,937	0,011	-189,247	0,103	0,172	65,6%	0,245	0,371	0,445
10	-0,077(*)	-0,147(*)	0,823	-	-	-	F(2,110)=874,656 p<0,0001	0,940	0,011	-192,789	0,101	0,169	65,6%	0,231	0,379	0,444
11	1,553(*)	2,287(*)	0,066(*)	-	-	-	F(2,110)=65,582 p<0,0001	0,536	0,083	38,012	0,280	0,468	22,8%	0,538	0,387	0,663
12	-0,203(*)	1,876	0,821	-	-	-	F(2,110)=880,909 p<0,0001	0,940	0,011	-193,547	0,100	0,167	65,1%	0,231	0,384	0,448

b_i : coeficientes de regresión, (*) no significativo, R²Aj.: coeficiente de determinación ajustado, AIC: criterio de información de Akaike, Syx: error estándar de estimación, Furn.: índice de Furnival, IA: índice de ajuste; D: promedio de las diferencias absolutas entre el volumen de fuste estimado y el volumen de fuste observado (diferencia agregada); S: desvío estándar de D; RCME: raíz del cuadrado medio del error.

Anexo 8. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste y validación para la estimación del volumen de fuste para *B. densiflora*

Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	Prueba F	R ² Aj	ECMP	AIC	Syx	Furn.	IA(%)	D(m ³)	S(m ³)	RCME(m ³)
1	-1,777(*)	6,753(*)	-	-	-	-	F(1,10)=11,99 p>0,0001	0,500	0,325	20,187	0,479	-	-380,3%	0,338	0,510	0,612
2	-0,467(*)	0,416(*)	-	-	-	-	F(1,10)=35,118 p=0,0001	0,756	0,160	11,561	0,334	-	-226,6%	0,413	0,261	0,489
3	0,048(*)	0,586	-	-	-	-	F(1,10)=94,599 p<0,0001	0,895	0,069	1,470	0,220	-	49,2%	0,140	0,137	0,196
4	0,025(*)	0,189(*)	0,575(*)	-	-	-	F(2,9)=42,683 p<0,0001	0,883	0,085	3,441	0,231	-	59,1%	0,126	0,122	0,176
5	0,609(*)	2,971(*)	-6,650(*)	-0,495(*)	1,424(*)	-	F(4,7)=18,638 p>0,0001	0,865	0,151	6,177	0,249	-	-24,4%	0,164	0,265	0,312
6	0,886(*)	-0,822(*)	0,244(*)	0,043(*)	-0,019(*)	-	F(4,7)=19,534 p>0,0001	0,871	0,111	5,661	0,243	-	55,7%	0,125	0,135	0,184
7	1,497(*)	-0,043(*)	-4,168(*)	0,015(*)	0,981(*)	-0,144(*)	F(5,6)=12,831 p>0,0001	0,843	0,247	8,133	0,268	-	-32,0%	0,171	0,272	0,321
8	1,735(*)	1,859(*)	-	-	-	-	F(1,10)=13,554 p>0,0001	0,533	0,072	2,168	0,226	0,412	-365,8%	0,349	0,489	0,601
9	-0,430(*)	0,929	-	-	-	-	F(1,10)=110,795 p<0,0001	0,909	0,014	-17,450	0,100	0,182	53,8%	0,135	0,129	0,186
10	-0,151(*)	-0,113(*)	0,867(*)	-	-	-	F(2,9)=52,082 p<0,0001	0,903	0,017	-15,931	0,103	0,188	73,5%	0,096	0,104	0,142
11	-3,064(*)	14,221(*)	6,658(*)	-	-	-	F(2,9)=6,840 p>0,0001	0,515	0,084	3,357	0,230	0,420	-1051,4%	0,539	0,777	0,945
12	-0,222(*)	1,957	0,866(*)	-	-	-	F(2,9)=56,575 p<0,0001	0,910	0,016	-16,848	0,100	0,182	75,0%	0,094	0,101	0,138

b_i : coeficientes de regresión, (*) no significativo, R²Aj.: coeficiente de determinación ajustado, AIC: criterio de información de Akaike, Syx: error estándar de estimación, Furn.: índice de Furnival, IA: índice de ajuste; D: promedio de las diferencias absolutas entre el volumen de fuste estimado y el volumen de fuste observado (diferencia agregada); S: desvío estándar de D; RCME: raíz del cuadrado medio del error.

Anexo 9. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste y validación para la estimación del volumen de fuste para *N. angustifolia*

Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	Prueba F	R ² Aj	ECMP	AIC	Syx	Furn.	IA(%)	D(m ³)	S(m ³)	RCME(m ³)
1	-1,257(*)	4,628	-	-	-	-	F(1,72)=82,017 p<0,0001	0,526	0,171	79,494	0,403	-	19,6%	0,322	0,313	0,449
2	-0,242(*)	0,470	-	-	-	-	F(1,72)=320,432 p<0,0001	0,814	0,067	10,282	0,253	-	78,7%	0,175	0,150	0,231
3	0,080(*)	0,633	-	-	-	-	F(1,72)=798,244 p<0,0001	0,916	0,031	-48,653	0,170	-	86,8%	0,121	0,137	0,182
4	0,057(*)	0,153(*)	0,619	-	-	-	F(2,71)=395,517 p<0,0001	0,915	0,032	-46,986	0,170	-	86,5%	0,121	0,138	0,184
5	0,581(*)	-2,291(*)	2,421(*)	0,090(*)	0,478(*)	-	F(4,69)=196,232 p<0,0001	0,915	0,035	-44,401	0,171	-	87,5%	0,117	0,134	0,178
6	-0,042(*)	0,100(*)	0,714(*)	-0,017(*)	0,008(*)	-	F(4,69)=195,528 p<0,0001	0,914	0,034	-44,157	0,171	-	88,1%	0,112	0,132	0,173
7	-0,154(*)	0,411(*)	-0,020(*)	-0,505(*)	1,008(*)	0,162(*)	F(5,68)=155,727 p<0,0001	0,914	0,036	-42,847	0,172	-	87,5%	0,110	0,139	0,177
8	1,414	2,052	-	-	-	-	F(1,72)=105,55 p<0,0001	0,589	0,081	22,069	0,273	0,371	14,3%	0,331	0,324	0,463
9	-0,364	0,951	-	-	-	-	F(1,72)=1075,984 p<0,0001	0,936	0,012	-116,053	0,108	0,146	87,3%	0,116	0,136	0,179
10	-0,376(*)	0,006(*)	0,954	-	-	-	F(2,71)=530,569 p<0,0001	0,936	0,013	-114,059	0,108	0,147	87,3%	0,116	0,136	0,179
11	2,572(*)	-0,620(*)	-1,496(*)	-	-	-	F(2,71)=54,810 p<0,0001	0,596	0,088	21,765	0,271	0,368	17,4%	0,324	0,319	0,455
12	-0,369(*)	1,898	0,952	-	-	-	F(2,71)=525,950 p<0,0001	0,935	0,013	-113,453	0,110	0,149	87,4%	0,115	0,136	0,178

b_i : coeficientes de regresión, (*) no significativo, R²Aj.: coeficiente de determinación ajustado, AIC: criterio de información de Akaike, Syx: error estándar de estimación, Furn.: índice de Furnival, IA: índice de ajuste; D: promedio de las diferencias absolutas entre el volumen de fuste estimado y el volumen de fuste observado (diferencia agregada); S: desvío estándar de D; RCME: raíz del cuadrado medio del error.

Anexo 10. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste y validación para la estimación del volumen de fuste para *O. diospyrifolia*

Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	Prueba F	R ² Aj	ECMP	AIC	Syx	Furn.	IA (%)	D(m ³)	S(m ³)	RCME(m ³)
1	-1,810	5,457	-	-	-	-	F(1,131)=212,978 p<0,0001	0,616	0,297	216,138	0,537	-	65,7%	0,377	0,310	0,488
2	-0,419	0,520	-	-	-	-	F(1,131)=648,635 p<0,0001	0,831	0,132	107,311	0,357	-	77,6%	0,278	0,280	0,395
3	0,100(*)	0,577	-	-	-	-	F(1,131)=1830,126 p<0,0001	0,933	0,052	-15,374	0,225	-	93,7%	0,139	0,157	0,210
4	0,074(*)	0,144(*)	0,564	-	-	-	F(2,130)=911,843 p<0,0001	0,932	0,053	-13,888	0,225	-	94,0%	0,136	0,151	0,204
5	-0,276(*)	1,248(*)	-0,915(*)	-0,026(*)	0,602(*)	-	F(4,128)=450,854 p<0,0001	0,932	0,055	-10,425	0,227	-	93,6%	0,139	0,159	0,211
6	0,111(*)	-0,248(*)	0,665	-0,008(*)	-0,002(*)	-	F(4,128)=452,174 p<0,0001	0,932	0,055	-10,788	0,226	-	87,4%	0,219	0,199	0,296
7	-1,162	3,997	-2,992	-0,447	0,916	0,136	F(5,127)=358,862 p<0,0001	0,931	0,056	-8,771	0,227	-	93,1%	0,141	0,168	0,220
8	1,349	2,030	-	-	-	-	F(1,131)=230,743 p<0,0001	0,635	0,092	60,233	0,299	0,490	63,6%	0,395	0,311	0,503
9	-0,436	0,948	-	-	-	-	F(1,131)=2603,88 p<0,0001	0,952	0,012	-208,813	0,109	0,178	93,6%	0,136	0,161	0,211
10	-0,374(*)	-0,030(*)	0,933	-	-	-	F(2,130)=1295,743 p<0,0001	0,952	0,012	-207,180	0,109	0,179	93,8%	0,134	0,158	0,207
11	0,742(*)	3,124(*)	0,687(*)	-	-	-	F(2,130)=115,661 p<0,0001	0,635	0,093	61,369	0,299	0,490	60,0%	0,412	0,329	0,527
12	-0,396	1,907	0,928	-	-	-	F(2,130)=1279,233 p<0,0001	0,951	0,012	-205,556	0,110	0,179	93,8%	0,134	0,159	0,208

b_i : coeficientes de regresión, (*) no significativo, R²Aj.: coeficiente de determinación ajustado, AIC: criterio de información de Akaike, Syx: error estándar de estimación, Furn.: índice de Furnival, IA: índice de ajuste; D: promedio de las diferencias absolutas entre el volumen de fuste estimado y el volumen de fuste observado (diferencia agregada); S: desvío estándar de D; RCME: raíz del cuadrado medio del error.

Anexo 11. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste y validación para la estimación del volumen de fuste para *C. trichotoma*

Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	Prueba F	R ² Aj	ECMP	AIC	Syx	Furn.	IA(%)	D(m ³)	S(m ³)	RCME(m ³)
1	-2,187(*)	7,440(*)	-	-	-	-	F(1,26)=13,497 p>0,0001	0,316	0,651	60,803	0,668	-	22,3%	0,612	0,500	0,790
2	0,121(*)	0,324	-	-	-	-	F(1,26)=55,049 p<0,0001	0,667	0,293	40,676	0,466	-	88,2%	0,241	0,192	0,308
3	0,145(*)	0,552	-	-	-	-	F(1,26)=186,975 p<0,0001	0,873	0,129	13,625	0,288	-	94,3%	0,176	0,121	0,213
4	-0,368(*)	2,156(*)	0,493	-	-	-	F(2,25)=129,293 p<0,0001	0,905	0,103	6,509	0,249	-	92,9%	0,203	0,124	0,238
5	5,092(*)	-18,459(*)	17,765(*)	0,065(*)	0,368(*)	-	F(4,23)=69,923 p<0,0001	0,911	0,279	6,348	0,241	-	94,1%	0,185	0,111	0,216
6	-0,633(*)	1,866(*)	0,703(*)	-0,019(*)	0,008(*)	-	F(4,23)=62,599 p<0,0001	0,901	0,202	9,199	0,254	-	95,8%	0,154	0,099	0,183
7	-2,777(*)	7,229(*)	-3,046(*)	-3,330(*)	3,113(*)	1,036(*)	F(5,22)=69,994 p<0,0001	0,927	0,626	1,333	0,218	-	93,1%	0,197	0,125	0,234
8	1,698	1,820(*)	-	-	-	-	F(1,26)=10,328 p>0,0001	0,257	0,118	17,946	0,311	0,614	22,5%	0,603	0,511	0,790
9	-0,392	0,896	-	-	-	-	F(1,26)=218,768 p<0,0001	0,890	0,017	-35,470	0,120	0,236	95,7%	0,153	0,106	0,186
10	0,233(*)	-0,314(*)	0,835	-	-	-	F(2,25)=131,209 p<0,0001	0,906	0,016	-39,066	0,110	0,218	94,1%	0,182	0,117	0,216
11	-0,555(*)	6,333(*)	2,718(*)	-	-	-	F(2,25)=5,158 p>0,0001	0,236	0,144	19,639	0,315	0,623	28,2%	0,578	0,494	0,760
12	-0,007(*)	2,211	0,831	-	-	-	F(2,25)=137,623 p>0,0001	0,910	0,015	-40,288	0,110	0,216	94,0%	0,182	0,122	0,219

b_i : coeficientes de regresión, (*) no significativo, R²Aj.: coeficiente de determinación ajustado, AIC: criterio de información de Akaike, Syx: error estándar de estimación, Furn.: índice de Furnival, IA: índice de ajuste; D: promedio de las diferencias absolutas entre el volumen de fuste estimado y el volumen de fuste observado (diferencia agregada); S: desvío estándar de D; RCME: raíz del cuadrado medio del error.

Anexo 12. Resumen de parámetros y estadísticos de bondad de ajuste y validación para la estimación del volumen de fuste para *M. campestris*

Modelo	b0	b1	b2	b3	b4	b5	Prueba F	R ² Aj	ECMP	AIC	Syx	Furn.	IA (%)	D(m ³)	S(m ³)	RCME(m ³)
1	-0,639(*)	4,117	-	-	-	-	F(1,56)=50,802 p<0,0001	0,466	0,104	33,939	0,313	-	2,4%	0,266	0,207	0,337
2	0,210(*)	0,269	-	-	-	-	F(1,56)=122,647 p<0,0001	0,681	0,062	4,102	0,242	-	62,2%	0,179	0,108	0,209
3	0,266	0,508	-	-	-	-	F(1,56)=691,24 p<0,0001	0,924	0,016	-78,895	0,118	-	90,8%	0,086	0,057	0,104
4	0,131(*)	1,036	0,451	-	-	-	F(2,55)=487,906 p<0,0001	0,945	0,012	-96,600	0,101	-	93,5%	0,065	0,059	0,087
5	0,230(*)	-1,074(*)	2,720(*)	0,081(*)	0,295(*)	-	F(4,53)=239,945 p<0,0001	0,944	0,014	-93,724	0,102	-	93,3%	0,065	0,060	0,088
6	0,054(*)	0,372(*)	0,664	-0,015(*)	0,005(*)	-	F(4,53)=261,136 p<0,0001	0,948	0,014	-98,386	0,098	-	91,9%	0,071	0,066	0,097
7	0,460(*)	-2,019(*)	3,688(*)	0,232(*)	0,142(*)	-0,037(*)	F(5,52)=188,667 p<0,0001	0,942	0,015	-91,821	0,102	-	93,4%	0,065	0,059	0,087
8	1,357	1,498	-	-	-	-	F(1,56)=46,782 p<0,0001	0,445	0,057	-1,937	0,230	0,312	-6,8%	0,282	0,212	0,352
9	-0,325	0,830	-	-	-	-	F(1,56)=912,227 p<0,0001	0,941	0,006	-132,023	0,075	0,102	90,9%	0,088	0,053	0,103
10	0,047(*)	-0,155(*)	0,758	-	-	-	F(2,55)=581,768 p<0,0001	0,953	0,005	-144,404	0,067	0,091	93,9%	0,066	0,053	0,084
11	1,603(*)	0,708(*)	-0,393(*)	-	-	-	F(2,55)=23,066 p<0,0001	0,436	0,059	-0,043	0,232	0,315	-4,1%	0,278	0,209	0,348
12	-0,042(*)	1,839	0,758	-	-	-	F(2,55)=611,021 p<0,0001	0,955	0,005	-147,124	0,066	0,089	94,0%	0,064	0,053	0,084

b_i : coeficientes de regresión, (*) no significativo, R²Aj.: coeficiente de determinación ajustado, AIC: criterio de información de Akaike, Syx: error estándar de estimación, Furn.: índice de Furnival, IA: índice de ajuste; D: promedio de las diferencias absolutas entre el volumen de fuste estimado y el volumen de fuste observado (diferencia agregada); S: desvío estándar de D; RCME: raíz del cuadrado medio del error.