



**2025** | **16-20**  
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO **FORESTAL** ESPAÑOL

**9CFE-1587**

---

Organiza





## Herramientas para la estimación de la biomasa en plantaciones de coníferas productivas en el País Vasco

GONZÁLEZ GAARSLEV, D. (1); MENÉNDEZ MIGUÉLEZ, M. (1); MADRIGAL CASANUEVA, G. (1); GARCÍA GARCÍA, M. (1); PARDOS MINGUEZ, M.; (1), DORRONSORO MINTEGUI, B. (2); OMAÑAS SANTIAGO, J.M. (3); CANTERO AMIANO, A. (4); CALAMA SAINZ, R. (1)

(1) ICIFOR, INIA-CSIC. Dpto. Dinámica y Gestión Forestal. Ctra A Coruña km 7.5. 28040 Madrid

(2) Servicio de Montes y Gestión de Hábitats. Diputación Foral Gipuzkoa.

(3) Servicio de Montes. Diputación Foral de Bizkaia

(4) Fundación HAZI Fundazioa

### Resumen

La incidencia reciente de problemas fitosanitarios en las plantaciones productivas del País Vasco ha provocado una transición desde el uso generalizado de *Pinus radiata* y *Pinus nigra* a la introducción o expansión de otras especies, algunas ya utilizadas anteriormente, como *Pseudotsuga menziesii*, *Larix sp.*, y otras de empleo más reciente, como *Sequoia sempervirens* y *Cryptomeria japonica*. Estas plantaciones, además de productoras de madera y protectoras frente a la erosión, juegan un papel fundamental como fijadoras de C atmosférico.

En la actualidad no se dispone de ecuaciones alométricas de árbol individual para la estimación de la biomasa fijada por estas especies en el País Vasco. En el presente trabajo se ha realizado una búsqueda bibliográfica de modelos pre-existentes para estas especies en otros países y ecoregiones, y se han utilizado datos de 74 pies apeados en 28 parcelas ubicadas en Gipuzkoa y Bizkaia al objeto de validar y calibrar estos modelos, identificando aquéllos que presenten una mejor concordancia estadística con los individuos muestreados en el País Vasco. Para sequoia se observó que los modelos existentes sobreestiman la biomasa individual, por lo que se ajustó un nuevo modelo.

### Palabras clave

Abeto Douglas, alerce, ecuaciones alométricas, estimación expost, mitigación

#### 1. Introducción

Los árboles, a través de la fotosíntesis, tienen la capacidad de capturar carbono atmosférico dentro de sus tejidos, así como de generar otros servicios ecosistémicos y productos maderables (WARING et al., 2020). De este modo, las restauraciones vegetales, plantaciones, reforestaciones y demás actuaciones sobre el medio natural que impliquen la implementación de nuevos árboles en terrenos desprovistos de vegetación suponen una muy eficaz herramienta en la lucha contra el cambio climático, en este caso a través de la disminución de CO<sub>2</sub>



acumulado en la atmósfera (CHAZDON & BRANCALION, 2019; GRISCOM et al., 2017).

Conocer el potencial de fijación de carbono atmosférico de los árboles de nueva plantación es un tema que reviste cierta dificultad y sobre el que hay continuas reflexiones y avances (WARING et al., 2020), existiendo estudios recientes que postulan que un aumento de 900 millones de hectáreas en la superficie forestal mundial permitirían almacenar hasta un tercio de las emisiones derivadas de la actividad humana (BASTIN et al., 2019). Resulta necesario acometer una evaluación precisa del potencial para generar nuevas zonas cubiertas de arbolado a nivel mundial puesto que existen algunas inquietudes al respecto, como son la disponibilidad real de terreno para forestar, la idoneidad de reforestar con árboles zonas con cubiertas arbustivas o herbáceas (formaciones como pastizales o sabanas), las limitaciones con respecto a disponibilidad de recursos hídricos y agricultura y, sobre todo, resolver la incertidumbre sobre el potencial de fijación de carbono por parte de terrenos reforestados (LEWIS et al., 2019; VELDMAN et al., 2019).

Las características de la reforestación aparecen como un parámetro que resulta clave a la hora de influir, en comparación con árboles procedentes de regeneración natural, en el crecimiento de las distintas componentes aéreas de los mismos. Comenzando por la preparación del suelo, se trata de un factor diferencial en el crecimiento de los árboles recién plantados, ya que mejora el crecimiento de estos durante los primeros años, siendo entonces la preparación del suelo un factor que da lugar a distintos patrones de crecimiento en altura (FONSECA et al., 2011). La densidad de plantación aparece también como un factor relevante de cara a explicar variaciones en las características de los árboles jóvenes, siendo esta densidad generalmente menor a la que aparece de forma natural. El crecimiento de los árboles es muy sensible al grado de competencia existente (LINES et al., 2012), aunque las variaciones en las características alométricas del arbolado joven también son muy dependientes de la especie (DEL RÍO et al., 2019).

Para la estimación de la fijación de carbono por parte de masas arboladas es muy común el empleo de ecuaciones alométricas que, a partir de variables medibles del arbolado, permiten arrojar un cálculo de la biomasa de un árbol según sus características. Para que las ecuaciones alométricas de biomasa puedan aplicarse de manera eficiente es necesario seleccionar variables predictoras que puedan ser medidas fácilmente en campo. Las variables más utilizadas a la hora de desarrollar este tipo de ecuaciones de biomasa son el diámetro a 1,30 metros del suelo o diámetro normal (dbh) y la altura total (h) (MUUKKONEN, 2007; ZIANIS & MENCUCCINI, 2004).

La mayoría de ecuaciones alométricas de biomasa aérea existentes para las distintas especies arbóreas se desarrollan para árboles con tamaños superiores al tamaño mínimo inventariable (diámetros normales por encima de 7,5 o hasta 10 cm). Esto hace que casi todas las ecuaciones alométricas disponibles no sean aplicables a árboles de pequeño tamaño, como es el caso de los jóvenes árboles que



vegetan en los años inmediatamente posteriores a una plantación (CORREIA et al., 2018; MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ et al., 2013). La distribución de la biomasa en las distintas componentes de la parte aérea de los árboles, y por lo tanto la alometría de los mismos, se modifica sustancialmente según la ontogenia y la fase de desarrollo del árbol, habiéndose descrito como la variabilidad de la biomasa de la copa en árboles de una misma especie es mucho mayor en árboles de pequeño tamaño (CLOUGH et al., 2018; FORRESTER et al., 2017; MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ et al., 2021). De este modo aplicar estas ecuaciones en árboles de pequeño tamaño puede dar lugar a estimaciones sesgadas y/o inexactas en lo referido a las reservas de carbono acumuladas.

Existen muy pocos estudios que aborden el desarrollo de modelos alométricos para estimación de biomasa aérea de árboles de pequeño tamaño desde una perspectiva más amplia (GONZALEZ-BENECKE et al., 2021; PAJTÍK et al., 2008), principalmente debido a que tradicionalmente se han enfocado estos esfuerzos en generar modelos y tablas de producción para árboles adultos (ANNIGHÖFER et al., 2016). Teniendo en cuenta la creciente importancia de las reforestaciones en años recientes, estos autores sí lograron ajustar una serie de ecuaciones de biomasa, basándose principalmente en datos obtenidos en otros estudios, para brinzales y chirpiales de varias especies europeas (ANNIGHÖFER et al., 2016). Para el ámbito español también se han venido desarrollando en los últimos años ecuaciones que permiten calcular el carbono fijado por repoblaciones jóvenes, existiendo ecuaciones para las principales especies forestales españolas, tanto autóctonas como exóticas de carácter productor, como es el caso del *Pinus radiata* (MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ et al., 2022).

Aunque las principales especies autóctonas si están bien representadas, una fracción de especies de gran importancia socioeconómica, como son las coníferas exóticas productivas (KUSBACH et al., 2024; LAWRENCE, 2020) aptas para las condiciones de la Península Ibérica, con la salvedad del ya mencionado *Pinus radiata*, (MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ et al., 2022) no cuentan con ecuaciones para árboles jóvenes ni tampoco con ecuaciones para árboles adultos concretas para su aplicación en la Península Ibérica.

Estas coníferas exóticas productivas son normalmente especies que, por su buena adaptación al clima y las condiciones de determinadas zonas, permiten obtener productos maderables con una mejor rentabilidad (KJÆR et al., 2014) frente a las especies autóctonas. En la vertiente atlántica española se está experimentando un aumento en la superficie forestal de este tipo de especies, habiéndose detectado en País Vasco un aumento de la superficie de *Pseudotsuga menziesii* (aumento del 48%, de 5.717 ha en 2005 hasta las 8.483 ha actuales), así como de *Cyptomeria japonica* y *Sequoia* spp (con casi 6.000 ha de estas especies en conjunto existentes a día de hoy frente a la inexistencia de las mismas en terreno vasco en 2005) en detrimento del *Pinus radiata*. Esta especie, que fue la base del sector forestal vasco, está siendo actualmente sustituida por razones fitosanitarias. En concreto en los últimos ha experimentado un descenso del 21% de su superficie en País Vasco, pasando de las 137.466 ha en 2005 a las 98.718 actuales, manteniendo actualmente esta tendencia. Es también reseñable el caso de *Larix* sp. que, aun habiendo disminuido su



superficie aproximadamente un 6% en los últimos años se mantiene relevante con una ocupación de 7.169 ha en la actualidad (HAZI, 2023)

## 2. Objetivos

El objetivo del trabajo es presentar y justificar una serie de modelos alométricos de utilización para el cálculo de biomasa de árboles individuales de *Larix* spp., *Pseudotsuga menziesii*, *Cryptomeria japonica* y *Sequoia* spp., tanto para árboles jóvenes como para árboles adultos. Para su consecución es necesario alcanzar objetivos secundarios como son:

- Identificación en bibliografía de ecuaciones ya existentes para árboles adultos de las mencionadas especies.
- Comparación de datos reales de biomasa tomadas de árboles con variables alométricas conocidas con valores calculados mediante las ecuaciones identificadas y selección de la ecuación que, para cada especie, tenga un mejor grado de ajuste con los datos de biomasa medidos.
- Elaboración de nuevos modelos específicos para pies jóvenes según relación entre la dispersión de los valores de biomasa observados en los muestreos destructivos frente a los valores resultantes de aplicar la expresión  $d^2h$  calculada para los valores de diámetro en la base y altura de cada uno de los árboles (muestreo destructivo) de los que se conoce la biomasa observada.

## 3. Metodología

### Muestreos destructivos

Entre los meses de noviembre de 2023 y abril de 2024, y en el marco de los inventarios realizados a nivel nacional en repoblaciones forestales orientado a estudiar la capacidad de fijación de C en este tipo de masas (ver Calama et al. 2024), se procedió a realizar un muestreo específico en plantaciones de coníferas productivas en el País Vasco. Respecto a las cuatro especies objeto de nuestro estudio, se replantearon un total de 28 parcelas en plantaciones localizadas en montes públicos y privados en las provincias de Gipuzkoa y Bizkaia. Las plantaciones seleccionadas tenían una edad inferior a 30 años, y en ellas las especies aparecían formando masas puras (19 parcelas) o mixtas (9 parcelas), pero siendo siempre la conífera productiva dominante. La tabla 1 recoge la distribución por clases de edad de las parcelas en las que aparece cada una de las especies.

*Tabla 1. Número de parcelas en las que aparece cada una de las especies, según clases de edad*

Especie	CLASE DE EDAD (años)						Total	
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30		
<i>Pseudotsuga menziesii</i>		3	3	1	4	1	12	
<i>Larix sp</i>		1	2	1	1		5	
<i>Cryptomeria japonica</i>		4	1			5		
<i>Sequoia sempervirens</i>		2	1	2	3	1	1	10

Las parcelas son rectangulares, con una superficie tal que permita incluir un mínimo de 40 árboles. En el inventario se tomaban las siguientes mediciones en todos los pies: diámetro a la altura de tocón (cm), diámetro normal (cm) y altura total (m) de cada uno de los pies que formaban parte de las mismas. Además del inventario dasométrico se procedió a la selección de varios árboles por especie (según se especifica en tabla 2) para la realización de un muestreo destructivo. En este muestreo el pie era apeado, y se procedía a separar las fracciones de < 2cm de diámetro (biomasa de ramillas y acículas) y las de > 2cm de diámetro (fracción de biomasa del fuste y ramas gruesas). Cada fracción ha sido pesada en verde en campo. Para la determinación de la humedad se han seleccionado submuestras de 2,5 kg de cada fracción de cada árbol, que han sido trasladadas a laboratorio, donde han sido secadas (15 días a 100 °C) y pesadas en seco para obtener así la humedad de cada submuestra. Esta humedad ha sido extrapolada al peso verde del árbol medido en campo, lo que permite calcular la biomasa seca de cada pie apeado (para más detalles en la metodología de los muestreos destructivos consultar MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ et al. 2022).

*Tabla 2. Características de los árboles sobre los que se realizó un muestreo destructivo.*

Especie	Número de pies muestra destructiva	Diámetro normal (cm)	Diámetro base (cm)	Altura (m)	Biomasa (kg)
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	23	0,7 - 20,5	3,0 - 28,0	1,4 - 17,3	0,51 - 208,37
<i>Larix spp.</i>	20	1,7 - 19,8	3,0 - 22,4	3,3 - 16,1	0,22 - 122,41
<i>Cryptomeria japonica</i>	10	0,8 - 9,6	0,9 - 15,3	0,7 - 6,1	0,33 - 20,09
<i>Sequoia spp.</i>	21	0,9 - 27,3	3,0 - 39,2	1,5 - 13,7	0,54 - 126,96

No ha sido posible realizar muestreos destructivos en parcelas de edades avanzadas, bien porque son poco frecuentes en el País Vasco (*Sequoia spp* y *Cryptomeria japonica*), bien por problemas logísticos que conlleva muestrear pies de elevadas dimensiones de especies productivas.



## Búsqueda de modelos en la bibliografía

Al no disponer de pies de gran tamaño y edades avanzadas, la aproximación propuesta se basa en evaluar la capacidad de distintos modelos alométricos de biomasa existentes para las especies en otros países, y publicados en la literatura científica, al objeto de estudiar su comportamiento para predecir la biomasa de individuos de estas especies en el País Vasco. Para ello se ha procedido a realizar una búsqueda bibliográfica, seleccionando solamente modelos de tipo alométrico que incluyeran como variables explicativas variables medidas en nuestros muestreos destructivos. Estos modelos identificados presentaban como base varias tipologías:

$$B_{a\acute{e}rea} = a.dbh^b$$

$$B_{a\acute{e}rea} = a.dbh^b.h^c$$

$$B_{a\acute{e}rea} = a.dbh^b + c.h^d$$

$$B_{a\acute{e}rea} = a.dbh.h + b.dbh^2$$

$$B_{a\acute{e}rea} = EXP(a + (bLN(dbh)))$$

Donde:

$B$  = biomasa,  $dbh$  = diámetro normal, medido a 1,30m (cm);  $h$  = altura (m);  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $d$  son parámetros del modelo.

Y variantes más complejas en las que se calcula la biomasa aérea total como la suma de las distintas fracciones que conforman la parte aérea de un pie arbóreo como son el fuste, las ramas y las acículas, estando los cálculos de las distintas componentes también ligados a modelos dependientes del diámetro normal y la altura como los mencionados.

$$B_{a\acute{e}rea} = B_{fuste} + B_{ramas} + B_{ac\acute{i}culas}$$

## Selección de los modelos más idóneos

La selección de los modelos más idóneos existentes en la bibliografía para las especies anteriormente mencionadas se ha realizado mediante la evaluación del grado de concordancia entre la biomasa seca predicha utilizando los modelos alométricos y los datos de biomasa seca obtenidos de los muestreos destructivos tras su procesamiento.

Para esta evaluación se han tenido en cuenta los siguientes estadísticos: el error medio de los residuos ( $E$ ) y el p-valor asociado con este estadístico, el error medio absoluto de los residuos ( $|E|$ ), la suma de cuadrados del error (SSR) y la raíz del error medio cuadrático (REMC):

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (B_{a,i} - \widehat{B}_{a,i})$$

$$|E| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |B_{a,i} - \widehat{B}_{a,i}|$$

$$SSR = \sum_{i=1}^n (B_{a,i} - \widehat{B}_{a,i})^2$$

$$REMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (B_{a,i} - \widehat{B}_{a,i})^2}$$

Donde

$$\begin{array}{c} B_{a,i} \\ \widehat{B}_{a,i} \end{array}$$

Junto con estos estadísticos se han trazado los gráficos de valores observados vs valores predichos, procediendo a realizar el ajuste de la recta y evaluando de manera gráfica el grado de concordancia con la recta 1:1.

### Construcción de nuevos modelos

En el caso de que ninguno de los modelos evaluados para una especie se considere adecuado para predecir la biomasa de los árboles muestreados en el País Vasco, se procederá a ajustar un conjunto de ecuaciones de biomasa de acuerdo a la metodología expuesta en MENÉNDEZ MIGUÉLEZ et al. (2023). Las ecuaciones a ajustar serían del tipo

$$B_{\text{área}} = \beta_0 \cdot X^{\beta_1}$$

Donde X puede ser una de las siguientes variables: diámetro normal (*dbh*), altura (*h*),  $dbh^2 \cdot h$ , diámetro base (*db*),  $db^2 \cdot h$ , sección de copa (*s\_copa*), y el parámetro BP, definido como el producto *s\_copa* × *h*.

Asimismo, en la bibliografía consultada referente a ecuaciones alométricas de biomasa para las especies mencionadas, se ha podido comprobar que como norma general las ecuaciones que los distintos autores desarrollan no son válidas para árboles jóvenes de reciente plantación que aún no han alcanzado una altura superior a 1,30 metros de altura, pues todos los modelos identificados en la bibliografía hacen referencia al diámetro normal como variable necesaria para la aplicación de la ecuación.



Por lo tanto, para completar estos modelos se optó, en su lugar, por elaborar nuevos modelos en base a la tipología

$$B_{a\acute{e}rea} = a + b \cdot dtoc^2 h$$

Donde:

dtoc= diámetro en la base (cm); h = altura (m), a y b parámetros a estimar por regresión lineal.

La elaboración de estos modelos viene dada por la línea de regresión lineal que relaciona el gráfico de dispersión de los valores de biomasa observados en los muestreos destructivos frente a los valores resultantes de aplicar la expresión  $d^2h$  calculada para los valores de diámetro en la base y altura de cada uno de los árboles (muestreo destructivo) de los que se conoce la biomasa observada. El modelo lineal generado se evalúa posteriormente de manera igual a la utilizada para evaluar la idoneidad de los modelos alométricos extraídos de la bibliografía.

#### 4. Resultados Modelos identificados en la bibliografía y selección del mejor modelo

En la búsqueda en las fuentes bibliográficas se han identificado los siguientes modelos:

- 4 modelos para *Pseudotsuga menziesii*: (BARTELINK, 1996; CHOJNACKY et al., 2014; NAY & BORMANN, 2014; NUNES et al., 2013)
- 16 modelos para *Larix spp*, publicados en cinco referencias: (JAGODZIŃSKI et al., 2018; JOHANSSON, 2013; MINERBI & CESCATTI, 2015; USOLTSEV et al., 2020; ZENG et al., 2017)
- 4 modelos para *Criptomeria japónica*, publicados en tres referencias: (HOSODA & IEHARA, 2010; JUNG et al., 2014; LIM et al., 2013)
- 4 modelos para *Sequoia sempervirens*, publicados en dos referencias: (KIZHA & HAN, 2016; SILLETT et al., 2019)

En las tablas 3 – 6 se presentan características de los modelos identificados (región de validez, número de árboles con los que fueron ajustados, rango de diámetros y alturas de los mismos, y especies para las que se consideran válidos) para cada una de las especies. Asimismo, se presentan los estadísticos de evaluación obtenidos al comparar las predicciones de los modelos con la biomasa de los individuos con altura superior a 1,30 metros.

*Pseudotsuga menziesii*

Tabla 3. Evaluación de ecuaciones alométricas de biomasa de *Pseudotsuga menziesii*



identificadas en la bibliografía.

Nº Mod	Origen	Región	Caract. árbol	Tamaño muestra	E	p-valor	E	SSR	REMC
34.1					0,079				
34.2					0,899				
34.3					0,059				
34.4					0,791				

A la vista del análisis realizado se determina que para *Pseudotsuga menziesii* la ecuación que mejor ajuste presenta frente a los valores de biomasa observados es la ecuación número 2 (NAY & BORMANN, 2014). Se trata de una ecuación aditiva compuesta por la suma de las expresiones exponenciales de cada una de las fracciones, distinguiendo en este caso los autores entre biomasa de hojas, de ramas, de corteza y de fuste, siendo además solo dependiente del diámetro normal. La expresión es la siguiente (1) :

$$Ba_{reatotal} = e^{-6,6292+2,669\ln(dbh)} + e^{-6,9137+2,9506\ln(dbh)} + e^{-3,77+2,2783\ln(dbh)} + e^{-2,0079+2,2776\ln(dbh)}$$

(1)

La figura 1 muestra la alta concordancia existente entre los valores observados y predichos, reflejada por la equivalencia entre la recta de la regresión observados = a + b\*predichos y la recta 1:1.

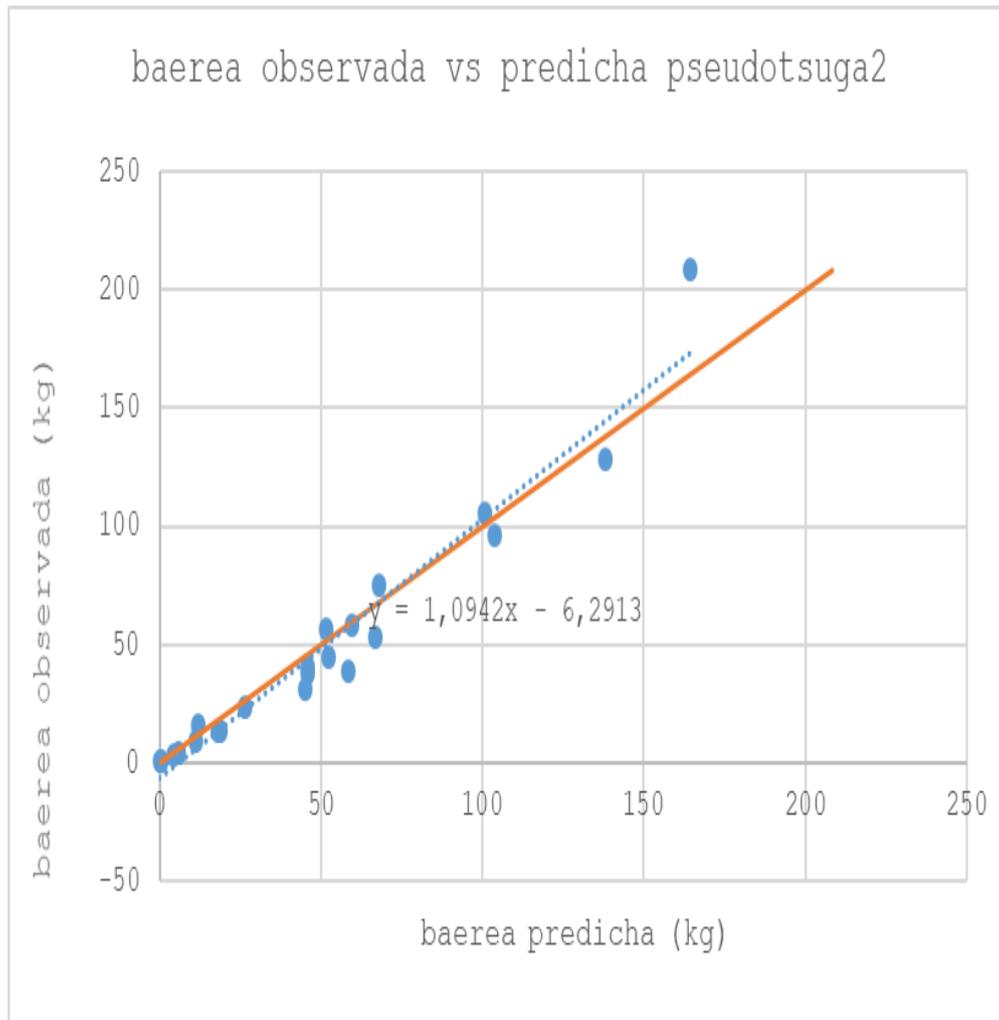


Figura 1. Valores observados frente a predichos para el mejor modelo identificado de *Pseudotsuga menziesii*. La recta punteada representa el modelo  $\text{observados} = a + b \cdot \text{predicho}$ , y la sólida es la línea 1:1

Para aquellos individuos con alturas menores de 1,30 metros en los que no se podría emplear el modelo anterior, y según la metodología previamente indicada, se ha ajustado el siguiente modelo que utiliza el diámetro en la base *dtoc* como variable explicativa, utilizando los 23 pies muestreados en el País Vasco:

$$\text{Baereatotal} = 0,0159\text{dtoc}^2h + 2,4913$$

(2)

La figura 2 presenta la línea de ajuste y el valor del coeficiente  $R^2$

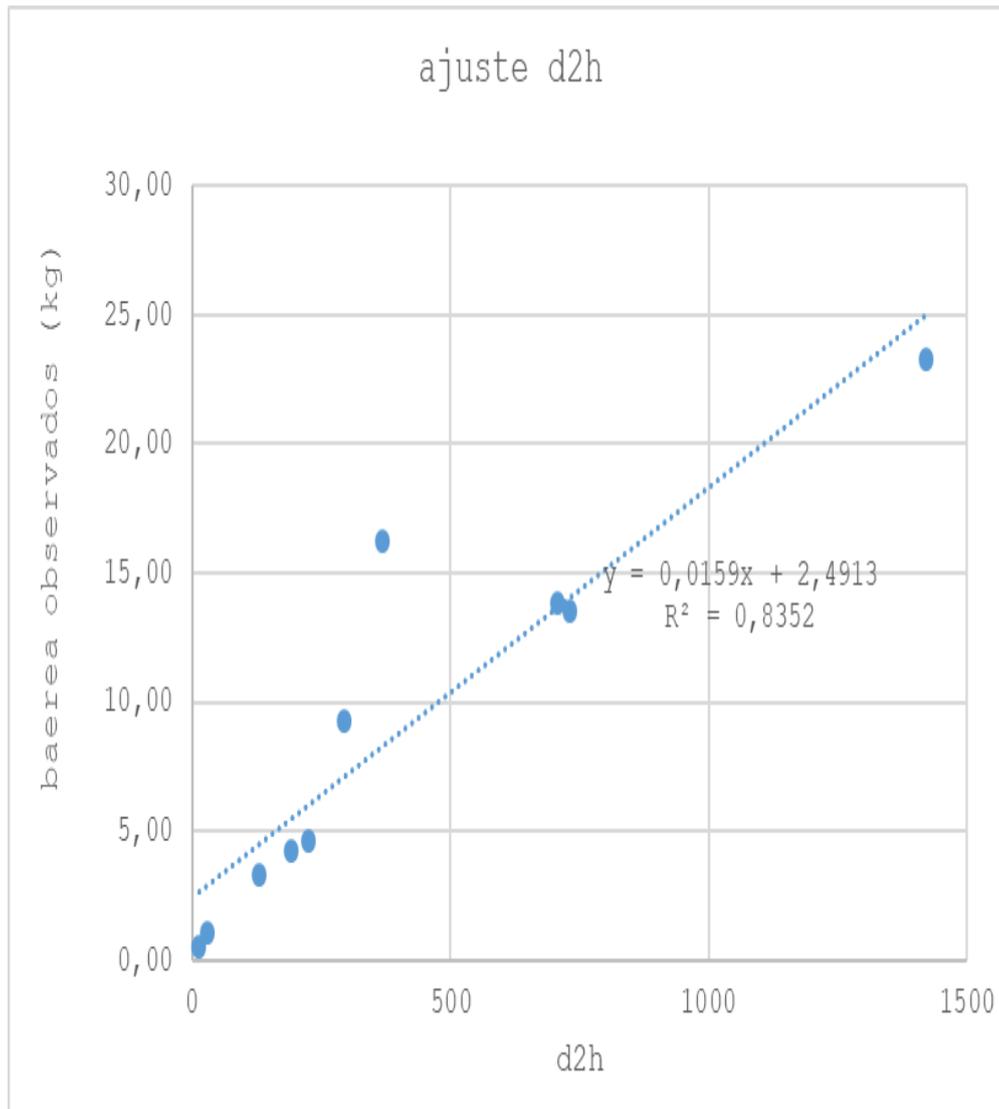


Figura 2. Modelo de biomasa aérea con validez en individuos de *Pseudotsuga* con altura inferior a 1.30 m, donde  $x$  es el diámetro basal

*Larix* spp.

Tabla 4. Evaluación de ecuaciones alométricas de biomasa de *Larix* spp. Identificadas en la bibliografía.

Nº Mod.	Orig.	Región	Especie	Caract.	árbol	Tamaño muestra	E	p-valor	E	SSR	REMC
35.1	(ZENG et al., 2017)	China nacional	Larix gmelinii, L. olgrnsis, L. kaempferi, L. principis-rupprechtii, L. sibirica, L. mastersiana, L. himalaica y L. speciosa	dbh 2-38 cm	600 muestras destruct.	6,33	0,569	7,45	4256,91		14,59
35.2	Noreste de China	3,79	0,742	6,50	3583,98						13,39
35.3	Norte de China	5,86	0,599	7,11	4116,67						14,35
35.4	Noroeste de China	7,18	0,514	7,97	4611,65						15,18
35.5	Suroeste de China	8,50	0,433	8,98	5275,29						16,24
35.6	(MINERBI & CESCATTI, 2015)	Tirol italiano	Larix decidua	dbh 5-100 cm	24 muestras destruct.	9,70	0,336	12,18	7736,51		19,67
35.7	(JAGODZIŃSKI et al., 2018)	Sur y oeste de Polonia	Larix decidua	dbh 1,9-57,9 cm; h 2,7-39,5; edad 7-120 años	96 muestras destruct.	15,11	0,147	15,11	10155,60		22,53
35.8	-6,74	0,611	11,95	6661,06							18,25
35.9	(JOHANSSON, 2013)	Suecia	Larix X eurolepis	dbh 6,8-24,2 cm	-23,12	0,0670	25,15	14205,75			26,65
35.10	-20,42	0,108	22,63	11938,95							24,43
35.11	(USOLTSEV et al., 2020)	Europa centra/oriental	Larix decidua	dbh 0,3-52,8 cm, h 1,4-34 m	420 muestras destruct.	3,28	0,772	7,41	3601,25		13,42
35.12	Oeste de Rusia	Larix sibirica	13,80	0,176	14,02	9552,07					21,85
35.13	Norte Kazajistán	Larix sibirica	12,65	0,220	12,91	8517,56					20,64
35.14	Oeste de Siberia	Larix sibirica, Larix gmelinii	2,01	0,861	7,37	3392,19					13,02



35.15	Este de Siberia	Larix gmelinii	-0,90	0,940	7,77	3461,95			13,16	
35.16	(HOSODA & IEHARA, 2010))	Japón	Larix kaempferi	dbh 4-38,5 cm	128 muestras destruct.	9,90	0,359	10,15	6024,93	17,36



A la vista del análisis realizado se determina que la ecuación que mejor ajuste presenta frente a los valores de biomasa observados es la ecuación número 14 (USOLTSEV et al., 2020). Se trata de una ecuación compuesta por el producto de la expresión para la biomasa total por un factor corrector indicador del porcentaje de biomasa aérea, siendo las ecuaciones dependientes del diámetro normal y de la altura. La expresión completa es la siguiente (3) :

$$Ba_{reatotal} = 0,2342 * (dbh^{1,5672}) * (h^{0,4054}) * (dbh^{0,0931 \ln(h)}) * (e^{0,0016})$$

$$* \frac{1}{1 + (0,2093 dbh^{0,5056}) * (h^{-0,1309}) * (dbh^{-0,1532 \ln(h)}) * e^{-0,1975}}$$

(3)

La figura 3 muestra la concordancia entre biomasa observada y la biomasa predicha con el modelo de la ecuación.

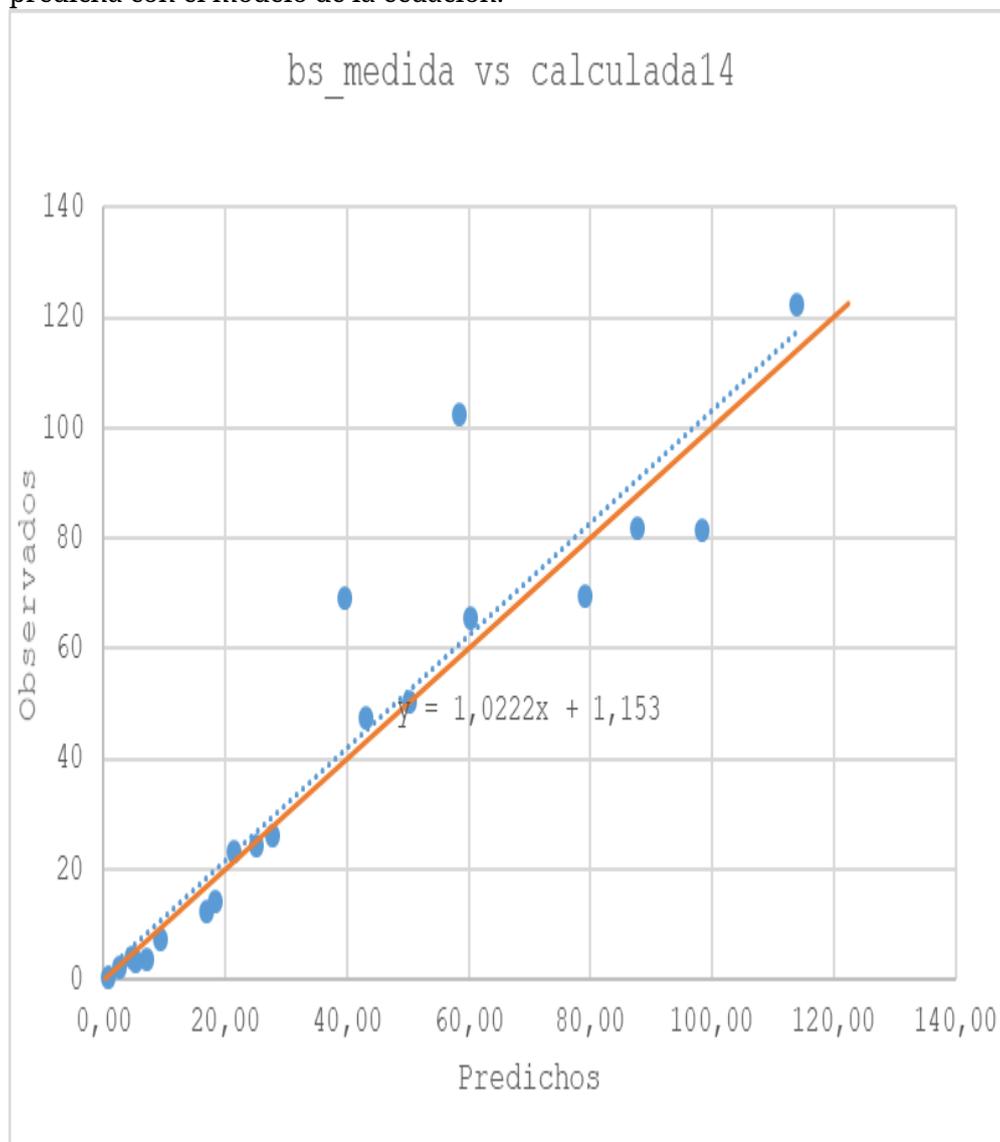


Figura 3. Valores observados frente a predichos para el mejor modelo identificado de para *Larix spp.*. La recta punteada representa el modelo  $observados = a + b * predicho$ ,

y la sólida es la línea 1:1

Para individuos con alturas menores de 1,30 metros se ajusta el siguiente modelo (figura 4):

$$Baereatotal = 0,0183dtoc^2h + 2,7114$$

(4)

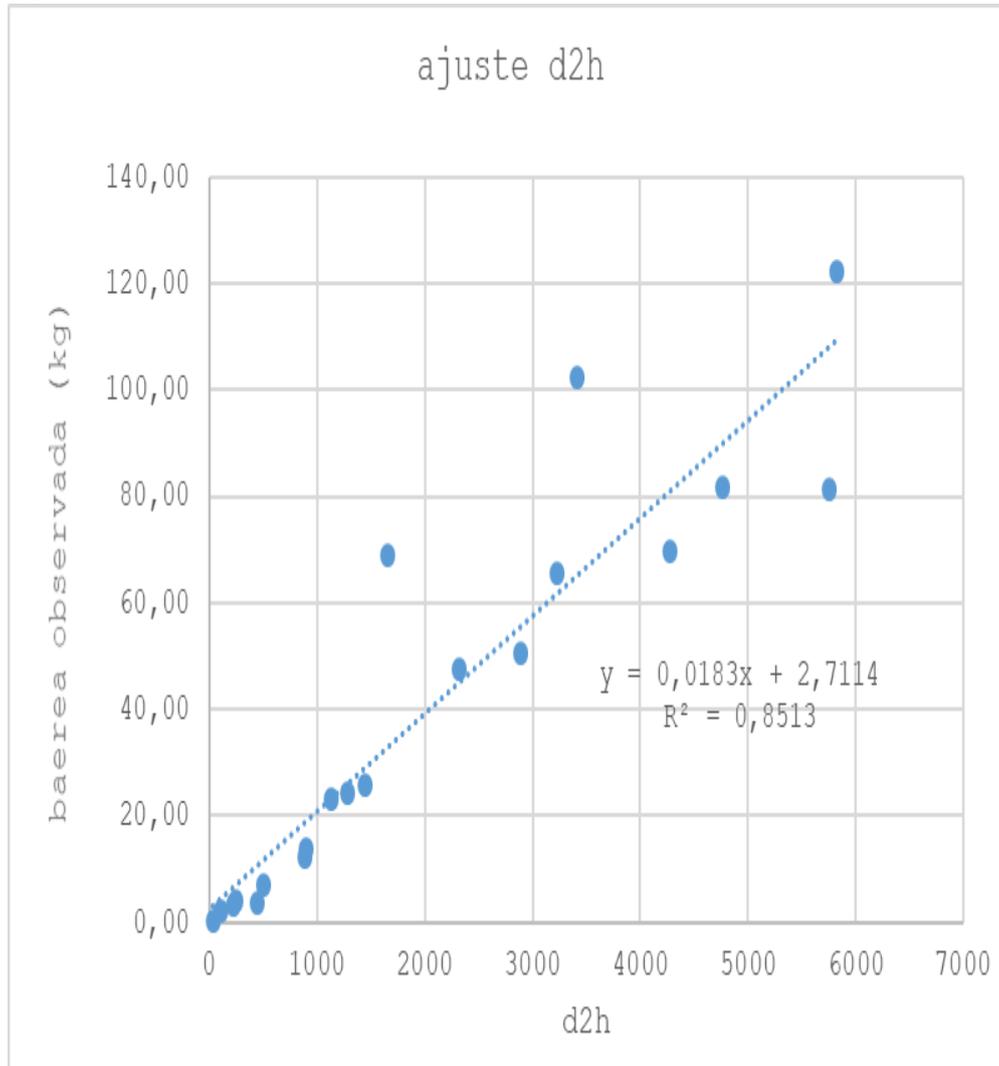


Figura 4. Modelo de biomasa aérea con validez en individuos de *Larix spp* con altura inferior a 1.30 m, donde x es el diámetro basal

*Cryptomeria japonica*

Tabla 5. Evaluación ecuaciones alométricas de biomasa de *Cryptomeria japonica* indetificadas en la bibliografía.



E	p-valor	E	SSR		REMC				
Cr.1	(HOSODA & IEHARA, 2010)	Japón	dbh 2,8-55,7 cm	532 muestras destruct.	1,31	0,714	1,45	28,04	2,00
Cr.2	(LIM et al., 2013))	Corea del Sur	dbh 7,7-33,7 cm; h 7,2-22,2	30 muestras destruct.	-0,28	0,946	1,10	19,22	1,66
Cr.3	-1,31	0,678	1,75	56,32			2,84		
Cr.4	(JUNG et al., 2014)	Corea del Sur	dbh 13-28 cm; h 9-14	18 muestras destruct.	1,28	0,772	1,91	103,55	3,85

A la vista del análisis realizado se determina que la ecuación que menor ajuste presenta frente a los valores de biomasa observados es la ecuación número 2 (LIM et al., 2013). Se trata de una ecuación dependiente del diámetro normal y la altura, ambas elevadas a sus respectivos coeficientes. La expresión completa es la siguiente (5):

$$Ba_{reatotal} = \frac{118,285 dbh^{1.863} h^{0.493}}{1000}$$

(5)

La figura 5 muestra la concordancia entre biomasa observada y la biomasa predicha con el modelo de la ecuación 5.

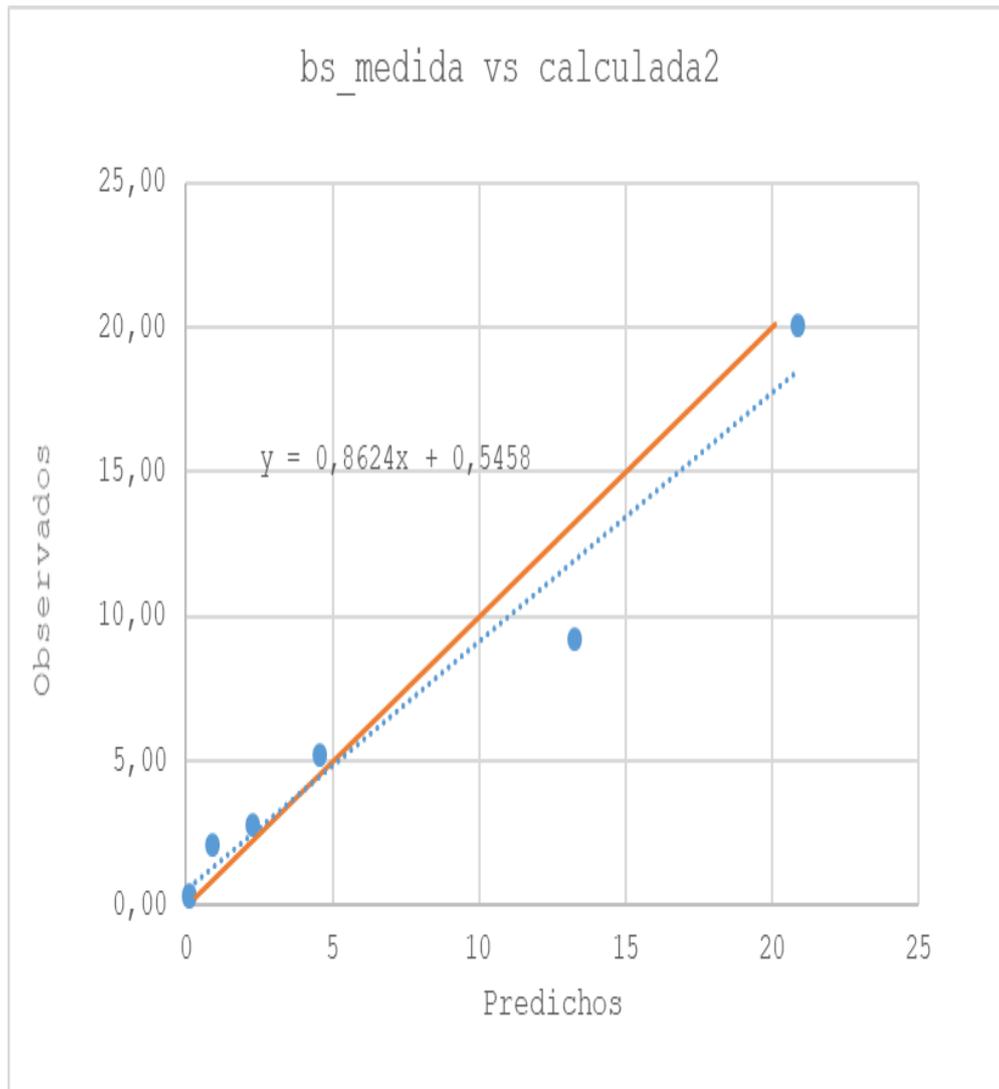


Figura 5. Valores observados frente a predichos para el mejor modelo identificado de para *Cryptomeria japonica*.. La recta punteada representa el modelo  $\text{observados} = a + b \cdot \text{predicho}$ , y la sólida es la línea 1:1

Para individuos con alturas menores de 1,30 metros se ajusta el siguiente modelo (figura 6):

$$Baereatotal = 0,012dtoc^2h + 0,8152$$

(6)

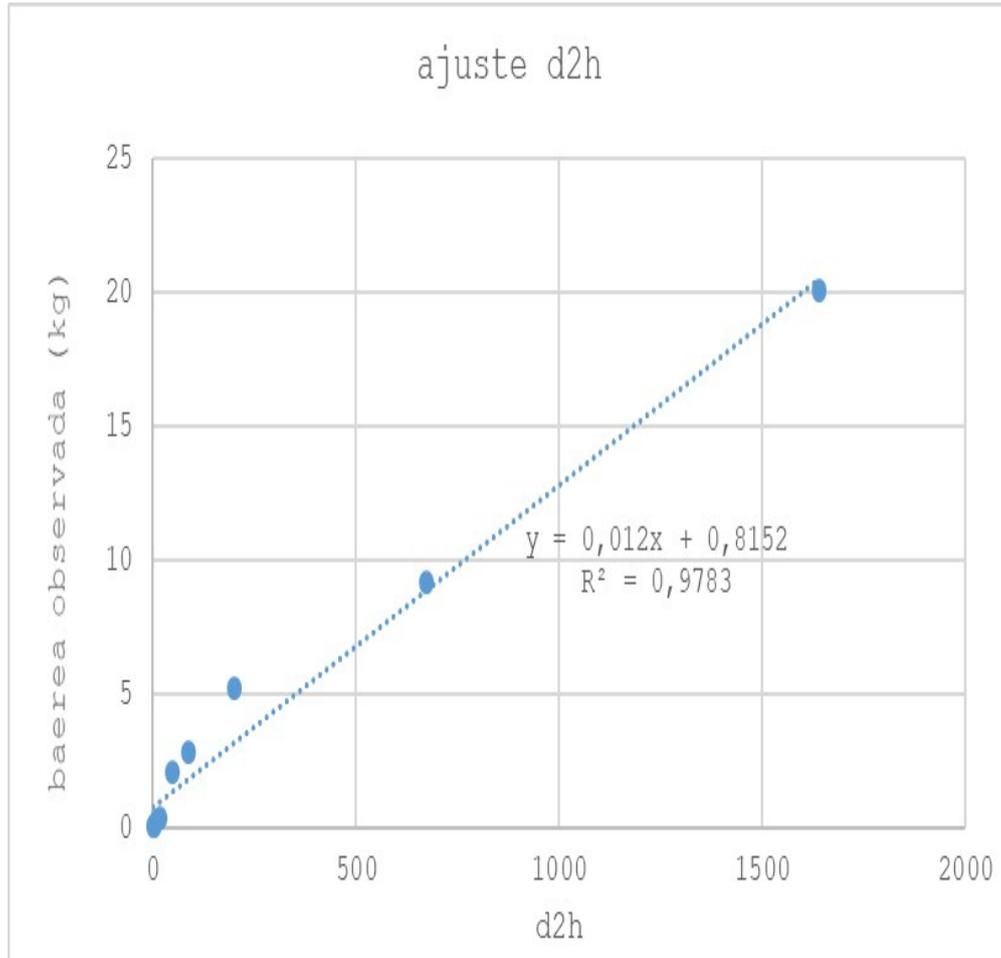


Figura 6. Modelo de biomasa aérea con validez en individuos de *Cryptomeria japonica* con altura inferior a 1.30 m, donde x es el diámetro basal

*Sequoia* spp.

Tabla 6. Evaluación ecuaciones alométricas de biomasa de *Sequoia* spp. de la bibliografía.



Nº Mod	Origen	Región	Especie	Caract árbol	Tamaño muestra	E	p-valor	E	SSR	REMC
Seq.1	(SILLETT et al., 2019)	California	Sequoia semperv.	dbh 34-185 cm; h 23-84 m; edad 20-198 años	44 muestras destruct.	-22,47	0,199	22,79	29283,14	38,26
Seq.2	-47,25	0,046	47,40	113755,41				73,60		
Seq.3	-23,94	0,165	24,16	28596,43				36,90		
Seq.4	(KIZHA & HAN, 2016)	California	Sequoia semperv.	dbh 2,54-80,07 cm	29 muestras destruct.	-35,62	0,093	35,76	61221,29	55,33

A la vista del análisis realizado y del gráfico de concordancia entre observados y predichos (figura 7) se determina que ninguna de las ecuaciones alométricas para *Sequoia* spp. analizadas tiene un ajuste aceptable con los datos observados por lo que se descartan todas las expresiones analizadas. La mejor ecuación sería la 3, pero conduce a valores de REMC superiores a 37 kg, errores medios del orden de 24 kg, y de acuerdo a la figura 7, tiende a sobreestimar de manera muy notable las estimaciones de biomasa.

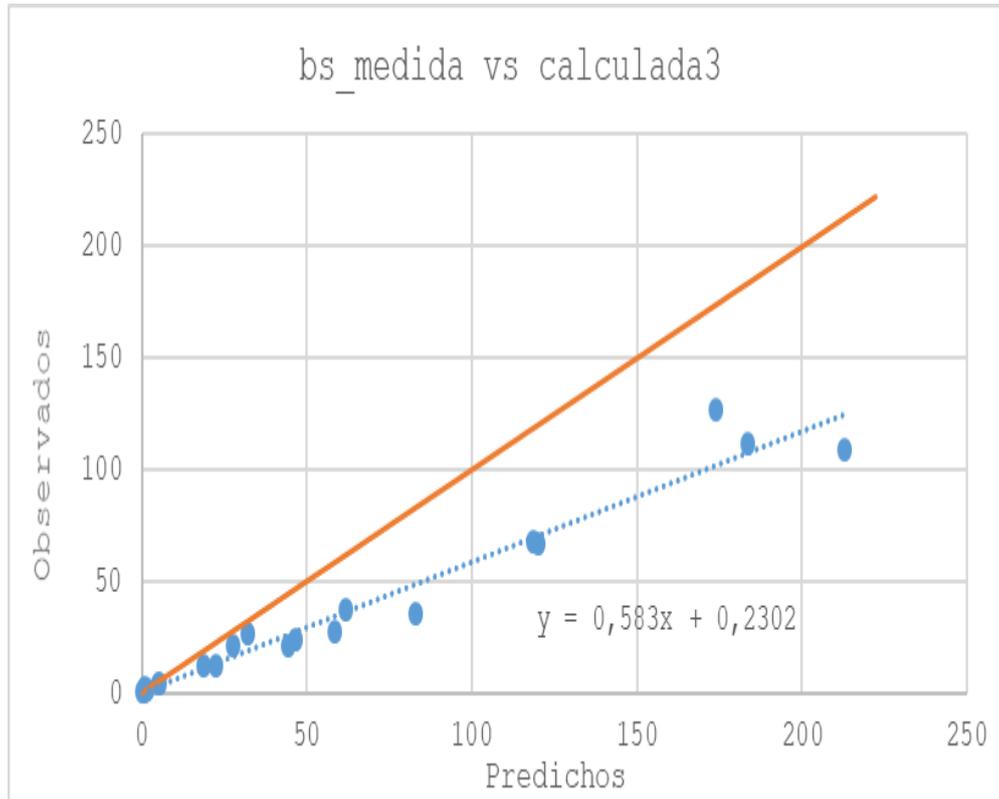


Figura 7. Valores observados frente a predichos para el mejor modelo identificado de para *Sequoia* spp... La recta punteada representa el modelo observados = a + b\*predicho, y la sólida es la línea 1:1

A la vista del resultado anterior se decide ajustar una familia de modelos utilizando los datos procedentes de los 21 pies de la especie apeados en el País Vasco, que abarcan hasta los 29.7 cm de diámetro normal y los 14 m de altura. En la tabla 7 se incluyen todos los modelos ajustados utilizando como predictoras las distintas variables anteriormente indicadas:

Tabla 7. Nuevos modelos para predecir la biomasa aérea de *Sequoia sempervirens*, ajustados a partir de los datos de 21 árboles apeados en el País Vasco

Modelo	Ecuación	Parámetros	REMC	$R^2_{adj}$
Seq. 5	$b_{aerea} = \beta_0 \cdot h^{\beta_1}$	$\beta_0$ $\beta_1$	$0,0717 \pm 0,0426$ (ns) $2,8420 \pm 0,2642$ ***	16,0172 0,8354
Seq. 6	$b_{aerea} = \beta_2 \cdot dbh^{\beta_3}$	$\beta_2$ $\beta_3$	$0,1671 \pm 0,0581$ ** $1,9806 \pm 0,1154$ ***	10,4938 0,9294
Seq. 7	$b_{aerea} = \beta_4 \cdot (dbh^2 h)^{\beta_5}$	$\beta_4$ $\beta_5$	$0,0473 \pm 0,0189$ * $0,8657 \pm 0,0465$ ***	6,4261 0,9735
Seq. 8	$b_{aerea} = \beta_6 \cdot (dtoc^2 h)^{\beta_7}$	$\beta_6$ $\beta_7$	$0,0482 \pm 0,0125$ ** $0,7982 \pm 0,0307$ ***	12,2925 0,9031
Seq. 9	$b_{aerea} = \beta_6 \cdot s_{copa}^{\beta_7}$	$\beta_8$ $\beta_9$	$3,9682 \pm 2,544$ (ns) $0,9558 \pm 0,2174$ ***	25,6398 0,5783
Seq. 10	$b_{aerea} = \beta_{10} \cdot BP^{\beta_{11}}$	$\beta_{10}$ $\beta_{11}$	$0,2876 \pm 0,1801$ (ns) $1,0222 \pm 0,1203$ ***	20,4223 0,7325
Seq. 11	$b_{aerea} = \beta_{12} \cdot dtoc^{\beta_{13}}$	$\beta_{12}$ $\beta_{13}$	$0,0441 \pm 0,0185$ * $2,1749 \pm 0,1269$ ***	15,9490 0,8368

Donde h=altura (m), d: diámetro normal (cm), dtoc= diámetro en la base (cm), s\_copa= superficie de copa (m<sup>2</sup>), BP = s\_copa . h. Nivel de significación: \* p < 0.05; \*\* p < 0.01; \*\*\* p < 0.001. (ns) No significativo.

A partir de los resultados presentados en la tabla 7 podemos recomendar para *Sequoia sempervirens* emplear la ecuación Seq. 7 para el arbolado de más de 1.30 m de altura, y la Seq. 8, que depende del diámetro en la base, para arbolado menor.

## 5. Discusión

El presente trabajo ha sido útil para poder determinar, para algunas de las coníferas productivas más relevantes en el País Vasco (*Pseudotsuga menziesii*, *Cryptomeria japonica*, *Larix* spp. y *Sequoia* spp.) qué modelo para la estimación de la biomasa total aérea de cada árbol adulto de los identificados en bibliografía presenta un mejor ajuste con los datos de biomasa según variables alométricas disponibles y por lo tanto puede resultar de aplicación para árboles adultos de estas especies en el ámbito de la Península Ibérica. De forma complementaria se han establecido nuevos modelos (tipología  $d^2h$ ) para árboles jóvenes de las mencionadas especies. La adaptación de modelos de biomasa de otros países o regiones constituye una alternativa útil en el caso de no disponer de muestreos destructivos suficientes, o como es nuestro caso, que no alcancen edades avanzadas.

Las comparaciones de los modelos existentes en la bibliografía con los datos de inventario recogidos han permitido, además de seleccionar el modelo existente más adecuado, aumentar el rango de aplicación de nuestros árboles muestreados (que por razones logísticas no alcanzan tamaños de árboles adultos) hasta árboles de prácticamente cualquier tamaño pues todas las ecuaciones seleccionadas permiten aumentar el rango de estimación de biomasa hasta árboles adultos. De cara a un futuro inmediato puede resultar de interés la ampliación de los muestreos hasta árboles adultos para poder elaborar nuevas ecuaciones con un mayor rango de aplicación. Asimismo, el esfuerzo futuro debe centrarse en aumentar la muestra de pies apeados, lo que teniendo en cuenta las escasas diferencias en cuanto a capacidad de ajuste observadas entre los modelos evaluados, podría dar lugar a identificar como más válidos otros modelos. En ese sentido, parece deseable ampliar la muestra hasta al menos 30 individuos por



especie, cifra que puede considerarse como aceptable para el ajuste de este tipo de ecuaciones (MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ et al., 2021). También interesaría ampliar los muestreos a otras especies no autóctonas empleadas con profusión en el País Vasco, pero que no disponen de ecuaciones de biomasa validadas para las condiciones de la región. Entre estas especies podrían citarse *Pinus taeda*, *Chamaecyparis lawsoniana*, *Picea abies* o *Tsuga heterophylla*.

Los modelos analizados en la bibliografía se han caracterizado por la heterogeneidad en su forma. Sí aparece como el rasgo común de que casi todos el que presentan como variables explicativas el diámetro a 1,30 metros (dbh) y la altura total del árbol, existiendo las diferencias a la hora de formular las relaciones entre estas variables dentro de las ecuaciones. Resulta reseñable que tanto para el caso de *Larix* spp (USOLTSEV et al., 2014). como *Pseudotsuga menziesii* (NAY y BORMANN, 2013) los modelos que han tenido una mejor respuesta han sido aquellos considerados como aditivos, es decir aquellos modelos basados en separar para su cálculo independiente las distintas componentes de la biomasa aérea de un árbol como pueden ser la biomasa del fuste, biomasa de ramas gruesas, biomasa de ramas finas y biomasa del follaje. Para *Pseudotsuga menziesii* y *Sequoia* spp. no se han identificado modelos aditivos en la bibliografía por lo que puede resultar de interés un desarrollo posterior de modelos de este tipo para estas especies.

El único caso en el que no se ha logrado identificar un modelo adecuado es para el caso de *Sequoia* spp., adaptándose los modelos ya existentes muy mal a la realidad de las plantaciones de esta especie medidas en nuestras latitudes. Esto puede ser debido a que, como se menciona en el apartado de introducción, factores como la preparación del suelo o la densidad son determinantes para el crecimiento (y por lo tanto para la acumulación de biomasa) de los árboles, siendo todas las ecuaciones analizadas para *Sequoia* spp. aplicables a masas naturales en América del Norte. Estas formaciones vegetales naturales son diametralmente opuestas, especialmente en cuanto a densidad del arbolado, a las plantaciones realizadas en nuestro territorio, teniendo las masas naturales densidades relativamente bajas y estructura irregular que permiten crecimiento y expansión lateral de copa muy elevados en los árboles. Por el contrario, en las plantaciones nacionales se observan marcos de plantación mucho más ajustados y tangencias de copa a edades muy tempranas, apareciendo estos árboles con portes mucho más esbeltos y menos desarrollados en diámetro y tamaño de copa, componente que constituye una parte importante de la biomasa de los pies.

## 6. Conclusiones

Los modelos (tanto identificados en bibliografía como nuevos modelos para árboles pequeños) permiten la estimación *expost* de la biomasa contenida en una repoblación. Mediante la realización de inventarios puntuales sobre la masa, los modelos permiten conocer de este modo la cantidad de CO<sub>2</sub> fijada por la plantación (realizada con cualquiera de las mencionadas especies) desde el momento de su instauración hasta el momento de realización del inventario en el que se tomen las variables objetivo de los modelos.

Para *Pseudotsuga menziesii*, *Larix* spp. *Cyptomeria japonica* se han identificado y



seleccionado ecuaciones de la bibliografía que se adaptan a las muestras disponibles, y permiten su aplicación en un rango ampliado de edades y tamaños. Para estas especies además se han ajustado ecuaciones válidas para plantas de altura inferior a 1.30 m. Para *Sequoia* spp. no se ha logrado encontrar en la bibliografía ningún modelo preciso para nuestros datos, habiéndose desarrollado una familia de ecuaciones de biomasa.

El presente trabajo ha permitido concluir que aunque, en el ámbito de las plantaciones de arbolado y el cálculo de biomasa mediante ecuaciones alométricas existe una gran heterogeneidad y se trata de unas realidades muy difíciles de simular y estimar de manera fiable, si es posible mediante la comparación con datos de inventario reales, extrapolar algunas de estas ecuaciones y que tengan validez en zonas muy variadas, como es el presente caso en el que ecuaciones desarrolladas en zonas como Estados Unidos, Corea del Sur o Rusia pueden ser de aplicación en nuestras latitudes y con nuestra realidad forestal.

## 7. Agradecimientos

El presente trabajo se ha llevado a cabo en el marco financiero y funcional del proyecto de transferencia MITECO2023-AF. 20234TE005 entre el MITERD y el CSIC y la encomienda de gestión EG17-042-C02-02 del MITECO al INIA. Los autores quieren agradecer a los Servicios Forestales de las diputaciones de Bizkaia y Gipuzkoa por el apoyo prestado en la localización de las parcelas, contacto con propietarios, obtención de los datos de campo y los permisos para el apeo de los árboles

8. **Bibliografía** ANNIGHÖFER, P.; AMEZTEGUI, A.; AMMER, C.; BALANDIER, P.; BARTSCH, N.; BOLTE, A.; COLL, L.; COLLET, C.; EWALD, J.; FRISCHBIER, N.; 2016. Species-specific and generic biomass equations for seedlings and saplings of European tree species. *European Journal of Forest Research*, 135, 313–329. BARTELINK, H. H.; 1996. Allometric relationships on biomass and needle area of Douglas-fir. *Forest Ecology and Management*, 86(1–3), 193–203. BASTIN, J.-F.; FINEGOLD, Y.; GARCIA, C.; GELLIE, N.; LOWE, A.; MOLLICONE, D.; REZENDE, M.; ROUTH, D.; SACANDE, M.; SPARROW, B.; 2019. The global tree restoration potential *Science*, 366(6463), eaay8108. CHAZDON, R.; BRANCALION, P.; 2019. Restoring forests as a means to many ends. *Science*, 365(6448), 24–25. CHOJNACKY, D. C.; HEATH, L. S.; JENKINS, J. C.; 2014. Updated generalized biomass equations for North American tree species. *Forestry*, 87(1), 129–151. CLOUGH, B. J.; DOMKE, G. M.; MACFARLANE, D. W.; RADTKE, P. J.; RUSSELL, M. B.; WEISKITTEL, A. R.; 2018. Testing a new component ratio method for predicting total tree aboveground and component biomass for widespread pine and hardwood species of eastern US. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 91(5), 575–588. CORREIA, A. C.; FAIAS, S. P.; RUIZ-PEINADO, R.; CHIANUCCI, F.; CUTINI, A.; FONTES, L.; MANETTI, M. C.; MONTERO, G.; SOARES, P.; TOMÉ, M.; 2018. Generalized biomass equations for Stone pine (*Pinus pinea* L.) across the Mediterranean basin. *Forest Ecology and Management*, 429, 425–436. DEL RÍO, M.; BRAVO-OVIEDO, A.; RUIZ-PEINADO, R.; CONDÉS, S.;



2019. Tree allometry variation in response to intra-and inter-specific competitions. *Trees*, 33, 121–138.FONSECA, F.; DE FIGUEIREDO, T.; MARTINS, A.; 2011. Survival and early growth of mixed forest stands installed in a Mediterranean Region: Effects of site preparation intensity. *Forest Ecology and Management*, 262(10), 1905–1912.FORRESTER, D. I.; TACHAUER, I. H. H.; ANNIGHOEFER, P.; BARBEITO, I.; PRETZSCH, H.; RUIZ-PEINADO, R.; STARK, H.; VACCHIANO, G.; ZLATANOV, T.; CHAKRABORTY, T.; 2017. Generalized biomass and leaf area allometric equations for European tree species incorporating stand structure, tree age and climate. *Forest Ecology and Management*, 396, 160–175.GONZALEZ-BENECKE, C. A.; FERNÁNDEZ, M. P.; ALBAUGH, T. J.; AHUMADA, R.; BOWN, H. E.; GAYOSO, J.; GERDING, V.; MARDONES, O. B.; RODRÍGUEZ, A. R.; RUBILAR, R.; 2021. General above-stump volume and biomass functions for *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*. *Biomass and Bioenergy*, 155, 106280.GRISCOM, B. W.; ADAMS, J.; ELLIS, P. W.; HOUGHTON, R. A.; LOMAX, G.; MITEVA, D. A.; SCHLESINGER, W. H.; SHOCH, D.; SIIKAMÄKI, J. V.; SMITH, P.; 2017. Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44), 11645–11650.HAZI FUNDAZIOA SOBRE EL INVENTARIO FORESTAL DEL PAÍS.; 2023. El bosque vasco en cifras 2010. [https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/mapa\\_forestal\\_2023/es\\_agripes/adjuntos/El-bosque-vasco-en-cifras-2023.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/mapa_forestal_2023/es_agripes/adjuntos/El-bosque-vasco-en-cifras-2023.pdf)HOSODA, K.; IEHARA, T.; 2010. Aboveground biomass equations for individual trees of *Cryptomeria japonica*, *Chamaecyparis obtusa* and *Larix kaempferi* in Japan. *Journal of Forest Research*, 15, 299–306.JAGODZIŃSKI, A. M.; DYDERSKI, M. K.; GĘSIKIEWICZ, K.; HORODECKI, P.; 2018. Tree-and stand-level biomass estimation in a *Larix decidua* Mill. Chronosequence. *Forests*, 9(10), 587.JOHANSSON, T.; 2013. Biomass equations for hybrid larch growing on farmland. *Biomass and Bioenergy*, 49, 152–159.JUNG, S. C.; LUMBRES, R. I. C.; WON, H. K.; SEO, Y. O.; 2014. Allometric equations, stem density and biomass expansion factors for *Cryptomeria japonica* in Mount Halla, Jeju Island, Korea. *Journal of Ecology and Environment*, 37(4), 177–184.KIZHA, A. R.; HAN, H.-S.; 2016. Predicting aboveground biomass in second growth coast redwood: Comparing localized with generic allometric models. *Forests*, 7(5), 96.KJÆR, E. D.; LOBO, A.; MYKING, T.; 2014. The role of exotic tree species in Nordic forestry. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29(4), 323–332.KUSBACH, A.; KREJZA, J.; FISCHER, M.; JANOUTOVÁ, R.; HORÁČEK, P.; HOMOLOVÁ, L.; 2024. Productivity of Coniferous Forests Evaluated by Remote Sensing and Field-Based Models. *Environmental Research Letters*.LAWRENCE, A.; 2020. Diversifying conifers in productive forests: stakeholders' perspectives.LEWIS, S. L.; WHEELER, C. E.; MITCHARD, E. T. A.; KOCH, A.; 2019. Restoring natural forests is the best way to remove atmospheric carbon. Nature Publishing Group.LIM, H.; LEE, K.-H.; LEE, K. H.; PARK, I. H.; 2013. Biomass expansion factors and allometric equations in an age sequence for Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) in southern Korea. *Journal of Forest Research*, 18, 316–322.LINES, E. R.; ZAVALA, M. A.; PURVES, D. W.; COOMES, D. A.; 2012. Predictable changes in aboveground allometry of trees along gradients of temperature, aridity and competition. *Global Ecology and Biogeography*, 21(10), 1017–1028.MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ, M.; CALAMA, R.; DEL RÍO, M.; MADRIGAL, G.; LÓPEZ-SENESPLEDA, E.; PARDOS, M.; RUIZ-PEINADO, R.; 2022. Species-specific and generalized biomass models for estimating carbon stocks of



young reforestations. *Biomass and Bioenergy*, 161, 106453. MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ, M.; CANGA, E.; BARRIO-ANTA, M.; MAJADA, J.; ÁLVAREZ-ÁLVAREZ, P.; 2013. A three level system for estimating the biomass of *Castanea sativa* Mill. coppice stands in north-west Spain. *Forest Ecology and Management*, 291, 417–426. MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ, M.; RUIZ-PEINADO, R.; DEL RÍO, M.; CALAMA, R.; 2021. Improving tree biomass models through crown ratio patterns and incomplete data sources. *European Journal of Forest Research*, 140(3), 675–689. MINERBI, S.; CESCATTI, A.; 2015. Tree volume and biomass equations for *Picea abies* and *Larix decidua* in South Tyrol. *For. Obs.*, 7, 5–34. MUUKKONEN, P.; 2007. Generalized allometric volume and biomass equations for some tree species in Europe. *European Journal of Forest Research*, 126(2), 157–166. NAY, S. M.; BORMANN, B. T.; 2014. Site-specific Douglas-fir biomass equations from the Siskiyou Mountains, Oregon, compared with others from the Pacific Northwest. *Forest Science*, 60(6), 1140–1147. NUNES, L.; GOWER, S.; MONTEIRO, M.; LOPES, D.; REGO, F.; 2013. Growth dynamics and productivity of pure and mixed *Castanea sativa* Mill. and *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco plantations in northern Portugal. *iForest-Biogeosciences For* 7: 92–102. PAJTÍK, J.; KONÔPKA, B.; LUKAC, M.; 2008. Biomass functions and expansion factors in young Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) trees. *Forest Ecology and Management*, 256(5), 1096–1103. SILLETT, S. C.; VAN PELT, R.; CARROLL, A. L.; CAMPBELL-SPICKLER, J.; COONEN, E. J.; IBERLE, B.; 2019. Allometric equations for *Sequoia sempervirens* in forests of different ages. *Forest Ecology and Management*, 433, 349–363. USOLTSEV, V. A.; SHOBARI, S. O. R.; TSEPORDEY, I. S.; ZUKOW, W.; 2020. Allometric models to predicate single-tree biomass in the Eurasian *Larix* spp. forest. *Ecological Questions*, 32(1). VELDMAN, J. W.; ALEMAN, J. C.; ALVARADO, S. T.; ANDERSON, T. M.; ARCHIBALD, S.; BOND, W. J.; BOUTTON, T. W.; BUCHMANN, N.; BUISSON, E.; CANADELL, J. G.; 2019. Comment on “The global tree restoration potential.” *Science*, 366(6463), eaay7976. WARING, B.; NEUMANN, M.; PRENTICE, I. C.; ADAMS, M.; SMITH, P.; SIEGERT, M.; 2020. Forests and decarbonization—roles of natural and planted forests. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3, 534891. ZENG, W.; DUO, H.; LEI, X.; CHEN, X.; WANG, X.; PU, Y.; ZOU, W.; 2017. Individual tree biomass equations and growth models sensitive to climate variables for *Larix* spp. in China. *European Journal of Forest Research*, 136, 233–249. ZIANIS, D.; MENCUCCINI, M.; 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management*, 187(2–3), 311–332.