

MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI RỪNG SỬ DỤNG BIẾN SỐ ĐẦU VÀO CỘNG ĐỒNG CÓ KHẢ NĂNG ĐO ĐẠC

Phạm Tuấn Anh¹, Bảo Huy²

TÓM TẮT

Để thực hiện giám sát các bon rừng có sự tham gia trong chương trình “Giảm phát thải từ mất rừng và suy thoái rừng” (UN-REDD+), cần xây dựng các mô hình sinh khối sử dụng các biến số đầu vào cộng đồng có khả năng đo đạc. Các mô hình này cần bảo đảm độ chính xác và cung cấp sai số định lượng. Sử dụng 222 cây mẫu chặt hạ để phát triển mô hình sinh khối cây rừng và 323 dữ liệu ô mẫu để lập mô hình sinh khối lâm phần cho rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên. Đường kính ngang ngực (DBH) và tổng tiết diện ngang (BA) được sử dụng làm biến số đầu vào của các mô hình. Ảnh hưởng của BA và chỉ số lập địa (S_i) đến AGB và BGB cũng được đánh giá. Mô hình được lựa chọn chủ yếu dựa vào chỉ số thông tin Akaike (Akaike Information Criterion - AIC) và các đồ thị trực quan. Các chỉ tiêu thống kê thẩm định chéo mô hình bao gồm sai lệch % (Bias %), sai số trung phương % (RMSPE) và sai số tuyệt đối trung bình % (MAPE) đã được xác định dựa vào rút mẫu ngẫu nhiên để phân chia thành 70% số liệu cho lập mô hình và 30% số liệu để đánh giá mô hình và được tính trung bình từ 200 lần rút mẫu ngẫu nhiên lặp lại. Hàm lũy thừa (power) được ước lượng theo phương pháp phi tuyến tính hợp lý cực đại (Maximum Likelihood) có trọng số và xét ảnh hưởng của các nhân tố lâm phần đã thu được độ tin cậy cao hơn phương pháp thường được sử dụng là tuyến tính hóa logarit bình phương tối thiểu. Các mô hình được lựa chọn với các biến số đầu vào cộng đồng có khả năng đo đạc để ước tính sinh khối cây rừng và lâm phần bao gồm: $AGB = a \times DBH^b$ (a_i là tham số thay đổi theo chỉ số lập địa S_i), $BGB = a \times DBH^b$, $TAGB = a \times BA^b$ và $TBGB = a \times BA^b$. Sử dụng mô hình lâm phần làm giảm số liệu thu thập nhưng tăng sai số MAPE thêm 9-12% so với mô hình cây rừng.

Từ khóa: Biến số đơn giản, cộng đồng, có sự tham gia, mô hình sinh khối.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong chương trình “Giảm phát thải từ mất rừng và suy thoái rừng” của Liên Hiệp Quốc (UN-REDD+), cần giám sát và báo cáo phát thải CO₂ tương đương từ rừng thông qua hệ thống “Đo lường - Báo cáo - Thẩm định (MRV)”. Hiệp định khung về biến đổi khí hậu của Liên Hiệp Quốc (UNFCCC 1997 - 2001) cũng yêu cầu có sự tham gia của cộng đồng trong giám sát các bon rừng. Vì

vậy ngoài các mô hình ước tính sinh khối, các bon rừng áp dụng cho các cơ quan chuyên nghiệp đã được phát triển, cũng cần có nghiên cứu để xây dựng các mô hình áp dụng được với dữ liệu đầu vào do cộng đồng đo đạc, giám sát; và các mô hình cũng cần phải bảo đảm độ tin cậy theo IPCC (2006).

Trong giám sát các bon rừng có sự tham gia của cộng đồng địa phương (PCM), người dân có thể đo đạc chính xác các chỉ tiêu rừng đơn giản như đường kính ngang ngực (DBH) (Huy *et al.*, 2013), vì vậy các mô hình sinh khối cần sử dụng

¹ Sở Kế hoạch Đầu tư tỉnh Đắk Nông

² Trường Đại học Tây Nguyên

biến số đầu vào đơn giản này (Van Laake, 2008). Mô hình ước tính sinh khối cây rừng trên mặt đất (AGB) cho rừng lá rộng thường xanh với một biến số đầu vào đơn giản là DBH cũng đã được xây dựng cho cả vùng rừng nhiệt đới (pantropic) (Brown, 1997), hoặc cho các vùng sinh thái của Việt Nam trong đó có Tây Nguyên (Huy *et al.*, 2016b). Sinh khối cây rừng phần dưới mặt đất trong rễ cây (BGB) là một bộ phận quan trọng trong các bể chứa các bon cây rừng, đến gần một nửa chu trình các bon rừng hàng năm được đóng góp từ hệ rễ cây (Vogt *et al.*, 1996). Tuy vậy, do chi phí cao của ước tính BGB nên việc đo tính sinh khối thường tập trung cho AGB (Yuen *et al.*, 2013; Ziegler *et al.*, 2012).

Tuy nhiên các nghiên cứu đã chỉ ra, mô hình ước tính AGB chỉ có độ tin cậy cao khi bao gồm nhiều biến số đầu vào như là DBH, chiều cao cây (H), khối lượng thể tích gỗ (WD) và diện tích tán lá (CA) (Huy *et al.*, 2016a,b). Vì vậy mô hình AGB chỉ với một biến DBH đầu vào sẽ cho độ tin cậy thấp, trong khi đó cộng đồng khó có thể đo lường và cung cấp chính xác thêm các biến số như H, WD hoặc CA. Bảo Huy (2013) cũng đã cho thấy mô hình BGB có một biến DBH hoặc mô hình sinh khối lâm phần theo các biến điều tra lâm phần đơn giản như BA có sai số nhỏ nhất; tuy vậy các mô hình này chưa có giải pháp thẩm định sai số bằng dữ liệu độc lập, khách quan.

Nghiên cứu này xây dựng các mô hình ước tính sinh khối cây rừng và lâm phần trên mặt đất (AGB, TAGB) và dưới mặt đất (BGB, TBGB) với biến số độc lập đầu vào của mô hình là đơn giản để có thể áp dụng dữ liệu cung cấp bởi cộng đồng, nhưng được nâng cao độ tin cậy nhờ vào: i) áp dụng phương pháp ước lượng mô hình phi tuyến tính hợp lý cực đại (Maximum Likelihood) có trọng

số thay đổi để phù hợp với sự phân tán dữ liệu sinh khối cây rừng hoặc lâm phần khi DBH hoặc BA tăng lên; ii) mô hình có biến số đầu vào đơn giản như DBH nhưng được nâng cao độ tin cậy nhờ thay đổi tham số theo các nhân tố lâm phần ảnh hưởng như BA, cấp chiều cao (H); iii) sử dụng tối ưu dữ liệu trong lập và thẩm định chéo các mô hình một cách khách quan để cung cấp thông tin về độ tin cậy, sai số của mô hình.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Địa điểm, đối tượng nghiên cứu

Dữ liệu trong nghiên cứu này được thu thập ở vùng Tây Nguyên, trên bốn tỉnh Gia Lai, Đắk Lắk, Đắk Nông và Lâm Đồng ở kiểu rừng lá rộng thường xanh với các trạng thái và cấp trữ lượng khác nhau. Biến động mật độ (N) 370 – 3.300 cây/ha (với cây có DBH ≥ 5 cm) và tổng tiết diện ngang (BA) biến động 2,6 – 72,6 m²/ha. Đặc điểm sinh thái ở các khu vực thiết lập ô mẫu: Độ cao so với mặt biển 377 – 1068 m, độ dốc 0 – 36°, lượng mưa trung bình năm 2.100 – 2.500 mm, có ba tháng mùa khô, nhiệt độ trung bình năm 22,2 – 25,0°C. Hầu hết khu vực nghiên cứu có đất nâu đỏ hình thành trên đá Sedimentary (Nguồn tác giả, Hijmans *et al.*, 2005; Fischer *et al.*, 2008).

2.2. Số liệu thu thập và thông tin biến số của các mô hình sinh khối cây rừng và lâm phần

20 ô mẫu 2000 m² (20×100 m) đã được thiết lập để thu thập số liệu sinh khối cây rừng (AGB, BGB). Trên ô mẫu thu thập các dữ liệu thông tin của ô như tọa độ, trạng thái rừng, độ tàn che, BA, vị trí địa hình, độ dốc, loại đất. Số liệu cây đứng thu thập bao gồm loài, DBH (cm), H(m) của các cây có DBH ≥ 5 cm. Trong ô mẫu, cây mẫu được lựa chọn để chặt hạ và xác định sinh khối tỷ lệ với phân bố số cây theo cấp kính. Mỗi ô chọn khoảng

10-12 cây để chặt hạ, tổng số có 222 cây mẫu được chặt hạ để thu thập số liệu sinh khối trên mặt đất (AGB), trong đó có khoảng 1/3 số cây mẫu được đào rễ để xác định sinh khối dưới mặt đất (BGB).

Cây mẫu trước khi chặt hạ được đo DBH, H và xác định loài. Cây mẫu được chặt hạ để thu thập số liệu về khối lượng tươi của các bộ phận cây trên mặt đất bao gồm lá, cành, thân và vỏ và 1/3 số cây được đào để xác định khối lượng rễ tươi. Mẫu của 5 bộ phận cây được thu thập bao gồm lá (300 g/mẫu), cành (500 g/mẫu) ở 3 cấp cành, thân (500 g/mẫu) ở 5 vị trí thân cây, vỏ (300 g/mẫu) ở 5 vị trí trên thân và rễ (300 g/mẫu) theo ba kích thước rễ (nhỏ, trung bình và lớn).

Trong phòng thí nghiệm, các mẫu được sấy ở nhiệt độ 105°C cho đến khi khối lượng không thay đổi, từ đó tính được tỷ lệ sinh khối khô/tươi của từng bộ phận cây và tính toán được sinh khối cây trên mặt đất (AGB) và dưới mặt đất (BGB) cho từng cây mẫu. Bảng 1 cung cấp thông tin các biến số độc lập và sinh khối thu thập được cây mẫu chặt hạ.

Bảng 1. Tóm tắt thông tin thống kê các biến số của cây mẫu đo tính sinh khối

Chỉ tiêu thống kê	DBH (cm)	H (m)	BGB (kg)	AGB (kg)
Min	4,7	3,9	0,5	2,9
Trung bình	17,4	13,4	15,8	265,3
Max	76,0	27,5	175,8	3149,0
Sai tiêu chuẩn	12,6	5,7	29,0	471,2
n	222	222	86	222

Để ước tính sinh khối lâm phần, 323 ô mẫu 1.000 m² (hình tròn phân tầng với bán kính tối đa R = 17,84 m) đã được thu thập trên các trạng thái rừng khác nhau ở hai tỉnh Đắk Nông (huyện Tuy Đức) và Lâm Đồng (huyện Bảo Lâm). Trên cơ sở

các mô hình AGB và BGB lựa chọn, tính toán được tổng sinh khối của cây gỗ trên và dưới mặt đất cho các ô mẫu (TAGB và TBGB). Bảng 2 cho thấy biến động của TAGB và TBGB quy ra ha ở các ô mẫu theo biến số lâm phần BA.

Bảng 2. Tóm tắt thông tin thống kê các biến số BA và sinh khối lâm phần. n = 323 ô

Chỉ tiêu thống kê	BA (m ² /ha)	TAGB (tấn/ha)	TBGB (tấn/ha)
Min	2,6	11,0	1,7
Trung bình	28,0	196,1	24,0
Max	72,6	655,3	71,6
Sai tiêu chuẩn	12,5	102,0	11,5

2.3. Phương pháp thiết lập, lựa chọn và thẩm định chéo mô hình

2.3.1. Chọn biến số đầu vào và dạng mô hình

Các mô hình sinh khối cây và lâm phần được thiết lập trong nghiên cứu này để áp dụng với dữ liệu đo đạc của cộng đồng nên có biến số đầu vào đơn giản là DBH, BA và phân chia theo cấp H (dựa vào chỉ số lập địa Site Index (S_i)). Hàm lũy thừa (power) đã được lựa chọn dựa theo Brown (1997), Chave *et al.* (2014) để thiết lập các mô hình sinh khối.

2.3.2. Chọn phương pháp lập mô hình sinh khối

Hai phương pháp thiết lập mô hình lũy thừa (power) khác nhau cũng được đánh giá để lựa chọn phương pháp tốt nhất, đó là phương pháp bình phương tối thiểu với hàm được tuyến tính hóa theo dạng logarit và phương pháp phi tuyến tính hợp lý cực đại (Maximum Likelihood) có trọng số. Khi so sánh các mô hình không giống nhau về biến số phụ thuộc (ví dụ y và tuyến tính hóa thành biến ln(y)), lúc này chỉ số Furnival (Furnival's Index - FI) cần được áp dụng (Furnical, 1961; Jayaraman,

1999). FI càng bé thì mô hình càng phù hợp. Công thức tính Furnival's Index (FI) như sau:

$$FI = RMSE * \frac{1}{\text{Geometric mean}(y')} \quad (1)$$

Trong đó: RMSE (Root Mean Squared Error): Sai số trung phương; y' là đạo hàm bậc nhất của biến phụ thuộc y và bằng 1, nếu là biến phụ thuộc được đổi biến số là $\ln(y)$ thì sẽ bằng $1/y$.

Công thức tính giá trị trung bình hình học:

$$\left(\prod_{i=1}^n x_i\right)^{1/n} = \sqrt[n]{x_1 x_2 \cdots x_n} \quad (2)$$

2.3.3. Phương pháp thiết lập mô hình sinh khối i

Để giảm biến động của sai số vì sự phân tán dữ liệu sinh khối khi DBH hoặc BA tăng lên, trọng số thích hợp $1/DBH^k$ hoặc $1/BA^k$ được áp dụng trong thiết lập mô hình. Sử dụng phương pháp ước lượng hàm phi tuyến tính Maximum Likelihood có trọng số có xét đến ảnh hưởng ngẫu nhiên của các nhân tố môi trường. Phần mềm mã nguồn mở R được áp dụng theo chương trình nlme (Pinheiro *et al.*, 2014). Kiểu dạng mô hình tổng quát như sau (Huy *et al.*, 2016b):

$$Y_{ij} = (\alpha + a_i) \times X_{ij}^{(\beta + b_i)} + \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

$$\varepsilon_{ij} \sim iid \mathcal{N}(0, \sigma^2) \quad (4)$$

Trong đó Y_{ij} là AGB (kg), BGB (kg), TAGB (tấn/ha), hoặc TBGB (tấn/ha) ứng với cây/ô thứ j từ cấp i của nhân tố ảnh hưởng; α và β là tham số của mô hình; a_i và b_i là thay đổi của tham số theo cấp i ; X_{ij} là các biến số DBH (cm), H (m) hoặc BA (m^2/ha) hoặc tổ hợp biến DBH^2H ứng với cây/ô thứ j trong cấp i ; và ε_{ij} là sai số ngẫu nhiên ứng với cây/ô thứ j và cấp nhân tố i .

Phân tích ban đầu cho thấy biến động của sai số có xu hướng gia tăng khi gia tăng DBH hoặc BA trong các mô hình. Vì vậy một hàm phương sai

theo trọng số đã được áp dụng để điều chỉnh các tham số của mô hình nhằm giảm biến động sai số này. Hàm phương sai có dạng như sau (Huy *et al.*, 2016b):

$$Var(\varepsilon_{ij}) = \widehat{\sigma}^2 (v_{ij})^{2k} \quad (5)$$

Trong đó ε_{ij} là sai số ngẫu nhiên; $\widehat{\sigma}^2$ là sai số bình phương; v_{ij} là biến trọng số (DBH, BA) tương ứng với cây/ô thứ j và cấp nhân tố ảnh hưởng i và k là hệ số của hàm phương sai.

2.3.4. Lựa chọn và thẩm định chéo các mô hình

Dữ liệu được lựa chọn ngẫu nhiên 200 lần để phân chia thành 70% số liệu để thiết lập và lựa chọn mô hình và 30% số liệu dùng để đánh giá mô hình. Các chỉ tiêu thống kê lựa chọn mô hình và sai số đánh giá được tính bình quân từ 200 lần. Mô hình tốt nhất được lựa chọn dựa vào chỉ tiêu AIC (Akaike Information Criterion) càng bé thì mô hình càng có độ tin cậy cao hơn.

$$AIC = -2 \ln(L) + 2p \quad (6)$$

Trong đó L là Likelihood của mô hình, p là tổng số tham số của mô hình.

Các mô hình được thẩm định sai số thông qua 30% dữ liệu rút ngẫu nhiên không tham gia lập mô hình và với 200 lần lặp lại. Các sai số sử dụng bao gồm % sai lệch giữa quan sát và dự báo qua mô hình (Bias %), sai số trung phương % (RMSPE) và sai số tuyệt đối trung bình % (MAPE). Các sai số được tính toán trung bình từ 200 lần (Temesgen *et al.*, 2014; Huy *et al.*, 2016b):

$$Bias (\%) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \quad (7)$$

$$RMSE (\%) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R 100 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)^2} \quad (8)$$

$$MAPE (\%) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad (9)$$

Trong đó R là số lần rút mẫu ngẫu nhiên để lập và đánh giá mô hình (200); n là số cây/ô (30% dữ liệu để đánh giá) của mỗi lần rút mẫu r và y_i và $\hat{y}_i$ là giá trị sinh khối quan sát và ước tính qua mô hình.

Sau khi lựa chọn dạng mô hình, đánh giá chéo và xác định các sai số của mô hình lựa chọn; mô hình cuối cùng được thiết lập dựa vào toàn bộ dữ liệu.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Lựa chọn phương pháp thiết lập mô hình

Kết quả ở bảng 3 cho thấy với phương pháp ước lượng hàm bằng phương pháp phi tuyến hợp lý cực đại (Maximum Likelihood) với trọng số

$1/DBH^k$ đã có chỉ số Furnival (Furnival's Index - FI) bé hơn rất nhiều so với phương pháp tuyến tính hóa bình phương tối thiểu không có trọng số. Chứng tỏ phương pháp Maximum Likelihood đã nắn chỉnh mô hình phù hợp hơn với số liệu sinh khối quan sát, đặc biệt là khi áp dụng trọng số $1/DBH^k$ đã làm giảm sai số trung phương ở các cấp DBH lớn, nơi mà sinh khối rất biến động. Kết quả này cũng phù hợp với Huy *et al.* (2016a) khi lập mô hình AGB cho vùng sinh thái Việt Nam. Từ kết quả đó, nghiên cứu này sử dụng phương pháp phi tuyến tính Maximum Likelihood có trọng số để thiết lập các mô hình sinh khối cây rừng và lâm phần.

Bảng 3. Chỉ số Furnival để đánh giá hai phương pháp ước lượng mô hình là logarit tuyến tính bình phương tối thiểu và phi tuyến tính Maximum Likelihood có trọng số ở các mô hình AGB, BGB theo các nhóm biến số đầu vào

Biến đầu vào	Mô hình	Phương pháp logarit bình phương tối thiểu		Phương pháp phi tuyến tính Maximum Likelihood có trọng số		
		Adj. R ²	FI	Trọng số Weight	Adj. R ²	FI
DBH	$AGB = a \times DBH^b$	0,950	27,3	$1/DBH^k$	0,801	0,054
	$BGB = a \times DBH^b$	0,901	2,4		0,484	0,004
DBH và H	$AGB = a \times (DBH^2 H)^b$	0,958	25,1	$1/DBH^k$	0,908	0,058
	$BGB = a \times (DBH^2 H)^b$	0,883	2,6		0,718	0,004
	$AGB = a \times DBH^b \times H^c$	0,901	24,7	$1/DBH^k$	0,883	0,056
	$BGB = a \times DBH^b \times H^c$	0,901	2,4		0,494	0,004

Ghi chú: FI là Furnival's Index. Nhóm biến số: $DBH^2 H = DBH \text{ (cm)}^2 \times H \text{ (m)}$.

3.2. Mô hình AGB

Để áp dụng với dữ liệu của cộng đồng, mô hình AGB theo DBH được thiết lập; mô hình có thêm biến H chỉ để làm cơ sở cho việc nâng cao độ tin cậy của ước tính AGB thông qua cấp chiều cao (cấp H). Bảng 4 là kết quả so sánh để lựa chọn và thẩm định chéo các mô hình AGB với biến số đầu vào khác nhau gồm DBH, DBH và H hoặc tổ hợp biến $DBH^2 H$; đồng thời để thử nâng

cao độ tin cậy ước tính AGB, đã xem xét ảnh hưởng ngẫu nhiên (random effect) của biến số tổng tiết diện ngang lâm phần (BA). Căn cứ vào giá trị AIC trung bình bé nhất, đối với một biến số DBH thì mô hình lựa chọn là $AGB = a \times DBH^b$ và đối với hai biến DBH và H thì mô hình tổ hợp biến $AGB = a \times (DBH^2 H)^b$ được lựa chọn. Các sai số trung bình (Bias%, RMSPE, MAPE%) của các mô hình được lựa chọn này cũng bé hơn các mô hình

khác. Hình 1 biểu diễn phân bố Bias% của 200 lần rút mẫu ngẫu nhiên 30% thảm định và đường ước tính AGB so với 30% dữ liệu thảm định chéo không tham gia lập mô hình của hai mô hình lựa chọn. Đồ thị cho thấy Bias% phân bố tiệm cận chuẩn, chứng tỏ với 200 lần rút 30% mẫu ngẫu nhiên độc lập để đánh giá đã phản ảnh tốt sai số của mô hình (không bị sai lệch sai số) và đồ thị ước tính AGB bám sát 30% giá trị đánh giá được

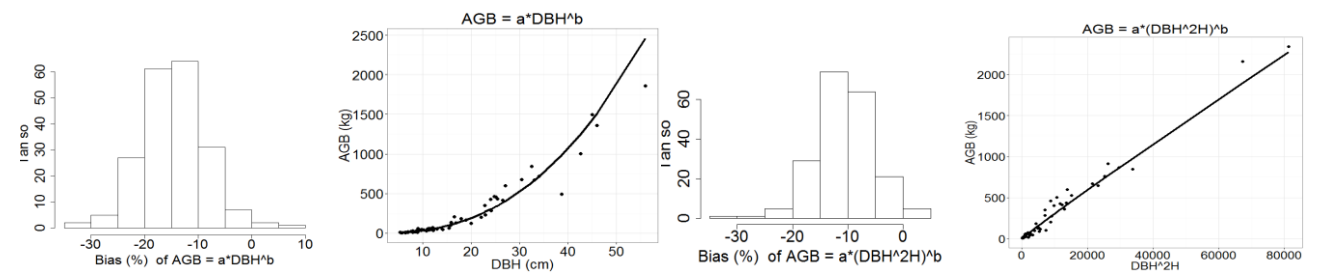
rút mẫu ngẫu nhiên và không tham gia lập mô hình AGB, cho thấy mô hình có độ chính xác tốt.

Các mô hình lựa chọn với biến số đầu vào DBH hoặc DBH²H cũng được xem xét ảnh hưởng của các cấp BA khác nhau từ các lâm phần có sinh khối, trữ lượng rừng khác nhau. Các chỉ số AIC và các sai số trung bình từ 200 lần đánh giá của mô hình có BA không được cải thiện rõ rệt; có nghĩa thay đổi cấp BA không làm thay đổi có ý nghĩa các tham số của mô hình.

Bảng 4. So sánh và thẩm định chéo mô hình ước tính AGB có hay không có ảnh hưởng của cấp BA theo các biến số đầu vào khác nhau

Biến số đầu vào	Mô hình	Nhân tố ảnh hưởng	Trọng số	AIC	Adj. R ²	RMSPE (%)	Bias (%)	MAPE (%)
DBH	$AGB = a \times DBH^b$	Không (*)	$1/DBH^k$	1489	0,795	47,8	-14,7	34,2
	$AGB = a \times DBH^b$	Cấp BA	$1/DBH^k$	1491	0,806	48,2	-15,3	34,3
DBH + H	$AGB = a \times (DBH^2H)^b$	Không (*)	$1/DBH^k$	1464	0,908	43,6	-10,4	29,6
	$AGB = a \times DBH^b \times H^c$	Không	$1/DBH^k$	1468	0,883	43,4	-12,0	29,9
	$AGB = a \times (DBH^2H)^b$	Cấp BA	$1/(DBH^2H)^k$	1452	0,911	43,8	-11,8	29,7

(*) Mô hình lựa chọn theo biến số đầu vào. Giá trị thống kê, sai số được tính trung bình từ 200 lần rút mẫu ngẫu nhiên: lập mô hình với 70% dữ liệu, tính các chỉ tiêu so sánh mô hình AIC và R² và đánh giá mô hình với 30% dữ liệu, tính các sai số RMSPE, Bias% và MAPE%

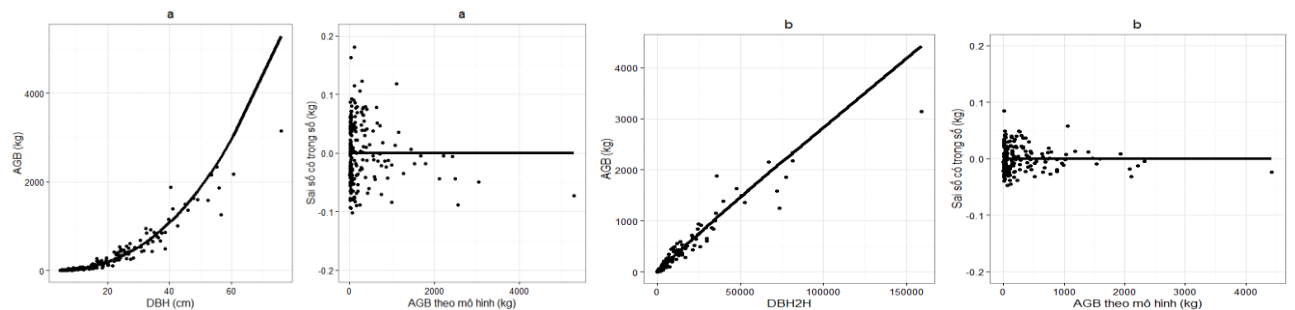


Hình 1. Mô hình AGB lựa chọn với biến số đầu vào khác nhau: Phân bố % Bias của 200 lần thẩm định (trái), mô hình AGB lựa chọn so với 30% dữ liệu thảm định chéo được rút mẫu ngẫu nhiên (phải)

Bảng 5. Tham số của mô hình AGB lựa chọn với các biến số đầu vào khác nhau, trên cơ sở toàn bộ dữ liệu

Biến đầu vào	Mô hình lựa chọn	Tham số		Sai số tiêu chuẩn của tham số	
		a	b	a	b
DBH	$AGB = a \times DBH^b$	0,114691	2,479830	0,011816	0,036767
DBH+H	$AGB = a \times (DBH^2H)^b$	0,044343	0,961302	0,004636	0,012690

Ghi chú: Các tham số đều có mức ý nghĩa P-value < 0,0001



Hình 2. Trái: Ước tính AGB qua mô hình lựa chọn so với quan sát, Phải: Sai số có trọng số theo AGB ước tính qua mô hình. a) Mô hình $AGB = a \times DBH^b$, b) Mô hình $AGB = a \times (DBH^2H)^b$

Sau khi lựa chọn mô hình và đánh giá chéo, sử dụng toàn bộ số liệu để ước lượng các tham số của các mô hình lựa chọn. Kết quả được trình bày ở bảng 5.

Biến động sai số AGB có trọng số ở hình 2 cho thấy mô hình có hai biến số dạng DBH^2H có sai số bé hơn rất nhiều so với một biến số DBH, vì vậy cần đưa biến H thông qua cấp H vào mô hình AGB để tăng độ tin cậy. Kết quả này phù hợp với các nghiên

cứu của Chave *et al.* (2014), Huy *et al.* (2016a,b) chỉ ra rằng khi gia tăng biến số của mô hình chỉ với một biến DBH với các biến như H, khối lượng thể tích gỗ (WD) hoặc diện tích tán lá (CA) sẽ làm tăng độ tin cậy của các mô hình sinh khối. Tuy nhiên trong trường hợp dữ liệu đầu vào từ cộng đồng nếu có quá nhiều biến số sẽ dẫn đến sai số đo tính cao hơn và một số biến số cộng đồng không thể tiếp cận được.

3.3. Mô hình BGB

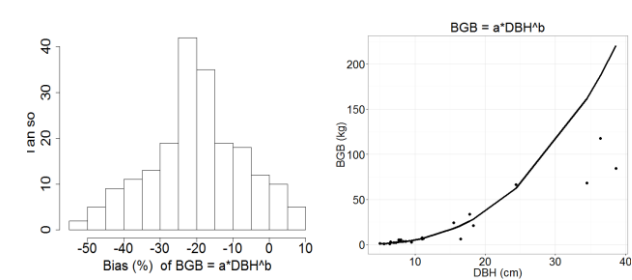
Mô hình BGB cũng được lựa chọn và đánh giá theo phương pháp tương tự như mô hình AGB nói trên. Kết quả ở bảng 6 cho thấy mô hình BGB có độ tin cậy và sai số bé nhất với chỉ một biến số đầu vào DBH, cấp BA cũng ảnh hưởng không có ý nghĩa đến các tham số của các mô hình. Vì vậy mô hình BGB thích hợp với dữ liệu đầu vào DBH của cộng đồng, không chịu ảnh hưởng của BA và không cần phân cấp H. Hình 3 là phân bố Bias từ 200 lần đánh giá và giá trị ước tính BGB từ DBH so với giá trị đánh giá được rút mẫu ngẫu nhiên.

Bảng 6. So sánh và thẩm định chéo mô hình ước tính BGB có hay không có ảnh hưởng của cấp BA theo biến số đầu vào

Biến số đầu vào	Mô hình	Nhân tố ảnh hưởng	Trọng số	AIC	Adj. R ²	RMSPE (%)	Bias (%)	MAPE (%)
DBH	BGB = $a \times DBH^b$	Không (*)	$1/DBH^k$	294	0,444	55,4	-17,8	40,6

Biến số đầu vào	Mô hình	Nhân tố ảnh hưởng	Trọng số	AIC	Adj. R ²	RMSPE (%)	Bias (%)	MAPE (%)
	BGB = a×DBH ^b	Cấp BA	1/DBH ^k	294	0,466	57,4	-20,2	42,2
DBH + H	BGB = a×(DBH ² H) ^b	Không	1/DBH ^k	303	0,686	52,9	-13,6	40,8
	BGB = a×DBH ^b ×H ^c	Không	1/DBH ^k	301	0,436	58,3	-20,4	43,3
	BGB = a×(DBH ² H) ^b	Cấp BA	1/(DBH ² H) ^k	311	0,459	60,7	-22,9	45,5

(*) Mô hình lựa chọn theo biến số đầu vào. Giá trị thống kê, sai số được tính trung bình từ 200 lần rút mẫu ngẫu nhiên: lập mô hình với 70% dữ liệu, tính các chỉ tiêu so sánh mô hình AIC và R²; đánh giá mô hình với 30% dữ liệu, tính các sai số RMSPE, Bias% và MAPE%



Hình 3. Mô hình BGB lựa chọn với biến số đầu vào DBH: Phân bố % Bias của 200 lần thẩm định (trái), mô hình ước tính BGB so với 30% dữ liệu thẩm định được rút mẫu ngẫu nhiên (phải)

Bảng 7 là các tham số của mô hình BGB lựa chọn theo một biến số DBH trên cơ sở toàn bộ số liệu. Kết quả này đóng góp cho thiết lập mô hình BGB – hiện tại rất hiếm và thiếu cho ước tính sinh khối rừng (Nam *et al.*, 2016). Kết quả này cũng phù hợp với kết luận của Cairns *et al.* (1997) trong thiết lập các mô hình sinh khối rừng ở các khu rừng vùng cao trên thế giới, tác giả đã kết luận BGB có quan hệ chặt chẽ với DBH, quan hệ yếu với khối lượng thể tích gỗ (WD) và hầu như không thấy quan hệ với biến số H.

Bảng 7. Tham số của mô hình BGB lựa chọn, trên cơ sở toàn bộ dữ liệu

Biến đầu vào	Mô hình lựa chọn	Tham số		Sai số tiêu chuẩn của tham số	
		a	b	a	b
DBH	BGB = a×DBH ^b	0,015306	2,550949	0,003349	0,094112

Ghi chú: Các tham số đều có mức ý nghĩa P-value < 0,0001

3.4. Mô hình AGB theo cấp H

Bảng 8. So sánh và thẩm định chéo mô hình quan hệ H = f(DBH)

Mô hình	Trọng số	AIC	Adj. R ²	RMSPE (%)	Bias (%)	MAPE (%)
H = a×DBH ^b (*)	1/DBH ^k	748	0,740	27,0	-5,5	18,1
H = 1.3 + a×DBH ^b	1/DBH ^k	749	0,734	26,9	-4,9	18,2

(*) Mô hình lựa chọn theo biến số đầu vào. Giá trị thống kê, sai số được tính trung bình từ 200 lần rút mẫu ngẫu nhiên: lập mô hình với 70% dữ liệu, tính các chỉ tiêu so sánh mô hình AIC và R²; đánh giá mô hình với 30% dữ liệu, tính các sai số RMSPE, Bias% và MAPE%

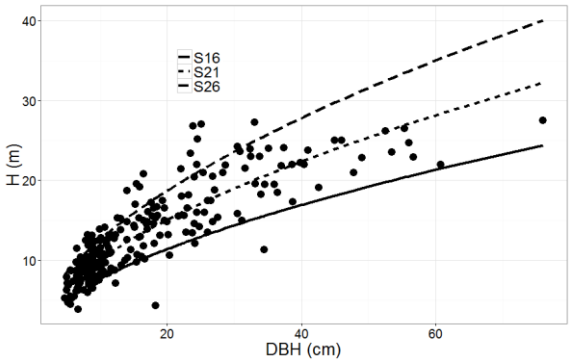
Mô hình ước tính AGB theo tổ hợp hai biến DBH^2H sẽ cho độ tin cậy cao hơn mô hình chỉ có một biến số đầu vào DBH được đo đạc bởi cộng đồng. Tuy nhiên nếu cộng đồng đo H cho toàn bộ cây trong ô mẫu sẽ mắc sai số lớn do đo quá nhiều cây và tán cây thường bị che khuất. Vì vậy giải pháp để nâng cao độ tin cậy là lập mô hình ABG với một biến số đầu vào là DBH và thay đổi các tham số mô hình theo cấp H; có nghĩa cộng đồng chỉ cần được huấn luyện để đo cao chính xác 3 cây trong một cấp kính đại diện để xác định chiều cao chỉ thị cho lập địa S_i , lúc đó việc đo cao sẽ giảm sai số do số lượng cây đo rất nhỏ và cây cũng được lựa chọn ở vị trí dễ quan sát ngọn cây.

Lập mô hình quan hệ $H = f(DBH)$ theo hàm mũ có hay không có hằng số 1,3 m, vì nó là phổ biến trong thiết lập mối quan hệ này (Temesgen et al., 2014). Kết quả ở bảng 8 cho thấy cả hai mô hình đều cho kết quả thống kê và thẩm định sai số gần như nhau. Do vậy mô hình lựa chọn là mô hình power đơn giản hơn, không có hằng số 1,3 m. Sau khi đánh giá, sử dụng toàn bộ số liệu để ước lượng các tham số của các mô hình lựa chọn H/DBH, kết quả được trình bày ở bảng 9.

Bảng 9. Tham số của mô hình $H = f(DBH)$ lựa chọn, trên cơ sở toàn bộ dữ liệu

Mô hình lựa chọn	Tham số		Sai số tiêu chuẩn của tham số	
	a	b	a	b
$H = a \times DBH^b$	2,796423	0,568826	0,16550	0,021573
			3	

Ghi chú: Các tham số đều có mức ý nghĩa $P\text{-value} < 0,0001$



Hình 4. Mô hình quan hệ $H = f(DBH)$ trung bình của ba cấp H với chiều cao chỉ thị S_i so với dữ liệu quan sát

Từ mô hình H/DBH lựa chọn, phân chia mô hình theo 3 cấp chiều cao: Khảo sát biến động H ở cấp $DBH = 30 - 40$ cm, trung bình là 35 cm. Kết quả có $\bar{H} = 20,7$ m và độ lệch chuẩn $S = 3,77$ m. Xác định biến động của H trong cấp kính 35 cm theo quy luật $\pm 2S$ ứng với dữ liệu nằm trong phân bố chuẩn với độ tin cậy 95%. Chia biến động H thành ba cấp. Kết quả có chiều cao chỉ thị S_i cho 3 cấp H_i ở cấp kính trung bình 35 cm là: $S_{26} = 26$ m, $S_{21} = 21$ m và $S_{16} = 16$ m. Thay đổi tham số a_i và cố định b của hàm mũ cho cấp H_i : $a_i = S_i / 35^{0,568826}$ Kết quả cho các tham số a_i : $a_1 = 3,409200$, $a_2 = 2,743552$ và $a_3 = 2,077904$.

Phương trình quan hệ $H = a_i \times DBH^b$ theo 3 cấp H_i :

Cấp H 1 với S_{26} : $H = 3,409200 \times DBH^{0,568826}$ (10)

Cấp H 2 với S_{21} : $H = 2,743552 \times DBH^{0,568826}$ (11)

Cấp H 3 với S_{16} : $H = 2,077904 \times DBH^{0,568826}$ (12)

Trong thực tế để xác định chiều cao chỉ thị S_i tiến hành đo H, DBH khoảng 3 cây trong một cấp kính đại diện của lâm phần (ví dụ rừng non thì có thể đo ở cấp kính nhỏ 10 - 20 cm, trong khi đó rừng thành thực thì nên tiếp cận cấp kính 30 - 40 cm), sau đó tính trung bình có $\bar{H}_i$ và $\overline{DBH}_i$. Chiều cao chỉ thị S_i tại $DBH = 35$ cm của lâm phần điều

tra (chỉ số lập địa S_i) sẽ được tính toán theo công thức sau:

$$S_i = \overline{H}_i \times (35 / \overline{DBH}_i)^{0,568826} \quad (13)$$

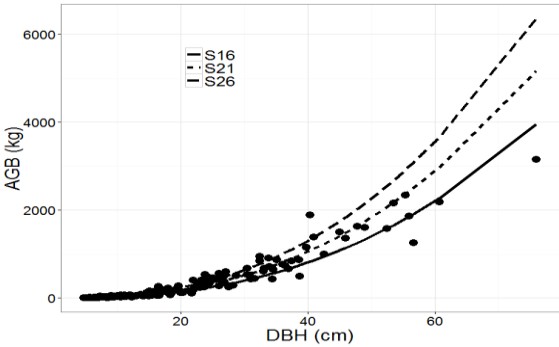
Hình 4 biểu diễn mô hình $H_i = a_i \times DBH^b$ theo ba cấp chiều cao chỉ thị khác nhau S_i . Hình này cho thấy việc phân chia 3 cấp H là phù hợp, các đường cong H/DBH phù khá kín đám mây điểm quan sát thực tế H/DBH.

Thế các mô hình $H_i = a_i \times DBH^b$ theo 3 cấp chiều cao chỉ thị S_i vào biến H của mô hình $AGB = a \times DBH^2 H$ sẽ có được mô hình AGB với một biến số DBH và tham số a_i thay đổi theo chiều cao chỉ thị S_i : $AGB = a_i \times DBH^b$:

Cấp H 1: S_{26} : $AGB = 0,144171 \times DBH^{2,469418}$ (14)

Cấp H 2: S_{21} : $AGB = 0,116997 \times DBH^{2,469418}$ (15)

Cấp H 3: S_{16} : $AGB = 0,089569 \times DBH^{2,469418}$ (16)



Hình 5. Đồ thị ước lượng AGB theo một biến số DBH và ba cấp chiều cao chỉ thị S_i so với dữ liệu quan sát

Trong thực tế không cần đo H toàn bộ, chỉ cần xác định cấp H_i qua chiều cao chỉ thị S_i để lựa chọn mô hình AGB theo một biến DBH thích hợp nhờ đo cao 3 cây ở một cấp kính đại diện trong lâm phần điều tra. Kết quả ở hình 5 chỉ ra mô hình ước tính AGB theo một biến số đầu vào của cộng đồng là DBH nhưng được phân chia thành

ba cấp chiều cao chỉ thị S_i (chỉ số lập địa) sẽ nâng cao độ chính xác rõ rệt vì các đường cong này bao phủ hầu như toàn bộ dữ liệu AGB quan sát theo cấp DBH.

3.5. Mô hình sinh khối lâm phần (TAGB, TBGB) theo biến số BA

Thiết lập mô hình ước tính sinh khối lâm phần trên và dưới mặt đất (TAGB và TBGB, tấn/ha) với biến số đầu vào lâm phần có thể thu thập bởi cộng đồng địa phương là tổng tiết diện ngang (BA, m²/ha) bằng dụng cụ Bitterlich. Hình 6 cho thấy xu hướng quan hệ giữa TAGB và TBGB theo BA theo dạng đường thẳng hoặc dạng mũ; vì vậy các dạng mô hình này được thử nghiệm. Ngoài ra nhìn vào các đồ thị này thấy rằng TAGB và TBGB biến động càng cao khi BA tăng, vì vậy mô hình Maximum Likelihood có trọng số cần được áp dụng để làm giảm sai số ước tính TAGB và TBGB khi cấp BA tăng.

Kết quả ở bảng 10 cho thấy các mô hình dạng power: $TAGB = a \times BA^b$ và $TBGB = a \times BA^b$ được lựa chọn vì có AIC trung bình bé hơn mô hình tuyến tính. Sai số trung bình từ 200 lần rút mẫu 30% dữ liệu để đánh giá không tham gia lập mô hình cho thấy các mô hình ước tính sinh khối của lâm phần có sai số nhỏ, MAPE 9,1 – 12,4%.

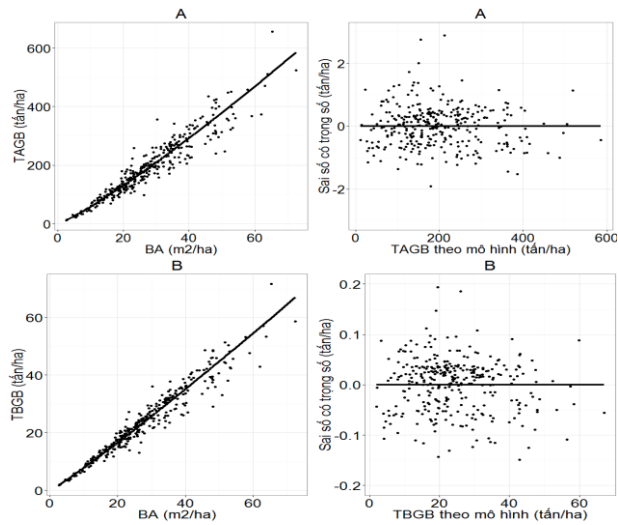
Các tham số của các mô hình sinh khối lâm phần lựa chọn được ước tính từ toàn bộ số liệu; kết quả được thể hiện ở hình 6 trình diễn mô hình mũ ước tính TAGB và TBGB theo BA so với toàn bộ dữ liệu ô mẫu và biến động sai số của mô hình có trọng số theo giá trị sinh khối lâm phần ước tính.

Bảng 10. So sánh và thẩm định chéo mô hình ước tính TAGB và TBGB theo BA

Mô hình	Trọng số	AIC	Adj. R ²	RMSPE (%)	Bias (%)	MAPE (%)
TAGB = a + b BA	1/BA ^k	2230	0,891	17,9	-1,8	13,0

Mô hình	Trọng số	AIC	Adj. R ²	RMSPE (%)	Bias (%)	MAPE (%)
TAGB = a×BA ^b (*)		2127	0,887	16,2	-2,1	12,4
TBGB = a + b BA	1/BA ^k	1145	0,930	12,4	-1,8	9,1
TBGB = a×BA ^b (*)		1032	0,925	12,2	-1,3	9,1

(*) Mô hình lựa chọn theo biến số đầu vào. Giá trị thống kê, sai số được tính trung bình từ 200 lần rút mẫu ngẫu nhiên: lập mô hình với 70% dữ liệu, tính các chỉ tiêu so sánh mô hình AIC và R²; đánh giá mô hình với 30% dữ liệu, tính các sai số RMSPE, Bias% và MAPE%



Hình 6. Trái: Mô hình so với toàn bộ dữ liệu quan sát, Phải: Sai số có trọng số theo ước tính qua mô hình.

A) Mô hình TAGB = a×BA^b; B) Mô hình TBGB = a×BA^b

Nếu sử dụng mô hình ước tính sinh khối lâm phần sẽ mắc sai số tích lũy từ sai số sử dụng mô hình sinh khối của cây. Tuy nhiên sai số MAPE tích lũy thêm khi sử dụng các mô hình lâm phần khoảng 10% có thể chấp nhận được khi không có yêu cầu độ chính xác quá cao; trong khi đó việc đo đặc biến số BA sẽ giảm việc thu thập số liệu cây cá thể. Điều này cũng đồng nhất với kết luận của Torres và Lovett (2013) khi sử dụng BA làm biến đầu vào cho mô hình ước tính sinh khối và các bon lâm phần ở Mexico, nó giúp làm giảm khối lượng điều tra hiện trường rất lớn so với sử dụng mô hình sinh khối cây cá thể.

Bảng 11. Tham số của mô hình TAGB và TBGB lựa chọn trên cơ sở toàn bộ dữ liệu

Mô hình lựa chọn	Tham số		Sai số tiêu chuẩn của tham số	
	a	b	a	b
TAGB = a×BA ^b	3,992639	1,163908	0,215972	0,016557
TBGB = a×BA ^b	0,638988	1,086061	0,022851	0,011119

Ghi chú: Các tham số đều có mức ý nghĩa P-value < 0,001

4. KẾT LUẬN

Phương pháp thiết lập mô hình sinh khối dạng lũy thừa (power) phi tuyến tính hợp lý cực đại (Maximum Likelihood) có trọng số và có xét đến ảnh hưởng của các nhân tố lâm phần cho độ tin cậy cao hơn phương pháp thông dụng là tuyến tính logarit bình phương tối thiểu.

Mô hình sinh khối cây rừng trên mặt đất AGB theo biến đầu vào đơn giản mà cộng đồng có thể thu thập chính xác là DBH, đồng thời độ tin cậy của nó được cải thiện khi phân chia mô hình theo ba cấp chiều cao dạng $AGB = a_i \times DBH^{b_i}$, trong đó tham số a_i thay đổi theo chiều cao chỉ thị lập địa S_i của lâm phần điều tra. Mô hình ước tính sinh khối cây rừng dưới mặt đất BGB có độ tin cậy cao nhất với một biến số DBH dạng $BGB = a \times DBH^b$ là phù hợp với dữ liệu đo đạc, giám sát của cộng đồng.

Mô hình ước tính sinh khối lâm phần trên và dưới mặt đất là: $TAGB = a \times BA^b$ và $TBGB = a \times BA^b$, trong đó BA cộng đồng có thể đo đạc được trên hiện trường bằng thước Bitterlich. Sử dụng mô hình ước tính sinh khối lâm phần chỉ đo đặc biến BA làm giảm số liệu thu thập và chi phí, tuy nhiên sai số MAPE sẽ tích lũy thêm 9-12% so với sử dụng mô hình cho cây rừng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Brown, S., 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: A Primer. FAO Forestry paper 134. ISBN 92-5-103955-0. Available at: <http://www.fao.org/docrep/W4095E/w4095e00.htm#Contents>.
2. Cairns, M. A., Brown, S., Helmer, E. H., Baumgardner, G. A., 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*. 1997; 111: 1-11.
3. Chave, J., Mechain, M. R., Burquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P. M., Goodman, R. C., Henry, M., Yrizar, A. M., Mugasha, W. A., Mullerlandau, H. C., Mencuccini, M., Nelson, B. W., Ngomanda, A., Nogueira, E. M., Malavassi, E. O., Pelissier, R., Ploton, P., Ryan, C. M., Saldarriaga, J. G., Vieilledent, G., 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology* 20: 3177-3190. DOI 10.1111/gcb.12629.
4. Fischer, G., Nachtergaele, F. O., Prieler, S., Teixeira, E., Toth, G., van Velthuisen, H., Verelst, L., Wiberg, D., 2008. Global Agro-ecological Zones Assessment for Agriculture (GAEZ 2008). IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy.
5. Furnival, G. M. (1961). An index for comparing equations used in constructing volume tables. *For. Sci.* 7: 337-341.
6. Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., Jarvis, A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
7. Huy, B., Kralicek, K., Poudel, K. P., Phuong, V. T., Khoa, P. V., Hung, N. D., Temesgen, H., 2016b. Allometric Equations for Estimating Tree Aboveground Biomass in Evergreen Broadleaf Forests of Viet Nam. *For. Ecol. and Mgmt.* 382: 193-205.
8. Huy, B., Nguyen, T. T. H., N. T. T., Sharma, B. D., Quang, N. V., 2013. Participatory Carbon Monitoring: Manual for Local Staff; Local People and Field Reference. (In English and Vietnamese). SNV Netherlands Development Organization, REED+ Programme. Publishing permit number: 1813- -2013/CXB/03-96/TĐ.
9. Huy, B., Poudel K.P., Temesgen, H., 2016a. Aboveground biomass equations for evergreen broadleaf forests in South Central Coastal ecoregion of Viet Nam: Selection of eco-regional or pantropical models. *For. Ecol. and Mgmt.* 376: 276-282.
10. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 4. Forest land. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., (eds). Published: IGES, Japan.
11. Jayaraman, K., 1999. A Statistical Manual for Forestry Research. FAO, 231pp.
12. Nam, V. T., van Kuijk, M., Anten, N. P. R., 2016. Allometric equations for aboveground and

- belowground biomass estimations in an evergreen forest in Vietnam. PLoS ONE 11(6): e0156827. DOI 10.1371/journal.pone.0156827.
13. Pinheiro, J., Bates, D., Debroy, S., Sarkar, D. & Team, R. C., 2014. nlme: Linear and nonlinear mixed effects models. R package version 3.1-117.
14. Temesgen, H., Zhang, C. H., Zhao, X. H., 2014. Modelling tree height-diameter relationships in multi-species and multi-layered forests: A large observational study from Northeast China. Forest Ecology and Management 316, 78-89.
15. Torres, A. B., Lovett, J. C., 2013. Using basal area to estimate aboveground carbon stocks in forests: La Primavera Biosphere's Reserve, Mexico. Forestry 86(2013): 267-281.
16. UNFCCC, 1997 – 2011: United Nation Framework Convention on Climate Change. United Nations.
17. Van Laake, P., 2008. Forest biomass assessment in support of REDD by indigenous people and local communities. International Institute for Geo- information Science and Earth Observation (ITC).
18. Vogt, K. A., Vogt, D. J., Palmiotto, P. A., Boon, P., O'Hara J., Asbjornsen H., 1996. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. Plant and Soil. 187: 159-219. DOI 10.1007/BF00017088.
19. Yuen, J. Q., Ziegler, A. D., Webb, E. L., Ryan, C. M., 2013. Uncertainty in below-ground carbon biomass for major land covers in Southeast Asia. Forest Ecology and Management, 310: 915-926. DOI 10.1016/j.foreco.2013.09.042.
20. Ziegler, A. D., Phelps, J., Yuen, J. Q., Webb, E. L., Lawrence, D., Fox, J. M., Bruun, T. B., Leisz, S. J., Ryan, C. M., Dressler, W., Mertz, O., 2012. Carbon outcomes of major land-cover transitions in SE Asia: great uncertainties and REDD+ policy implications. Global Change Biology, 18(10): 3087-3099. DOI 0.1111/j.1365-2486.2012.02747.x.

ALLOMETRIC EQUATIONS FOR ESTIMATING FOREST BIOMASS USING THE PREDICTOR VARIABLES MEASURED BY LOCAL COMMUNITY

Pham Tuan Anh¹, Bao Huy²

¹Department of Planning and Investment Dak Nong province

²Tay Nguyen University

Summary

To perform participatory carbon monitoring under United Nation – Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (UN-REDD+) program, there is an important need to develop biomass equations using the predictor variables measured by local people. These equations need to be accurate and provide quantifiable uncertainty. Using data from 222 destructively sample trees for developing tree biomass models and 323 sample plots for stand biomass equations, a set of models were developed to estimate tree aboveground biomass (AGB), tree belowground biomass (BGB), total AGB (TAGB) and total BGB (TBGB) in evergreen broadleaf forests (EBLF) of the Central Highlands of Viet Nam. Diameter at breast height (DBH) and basal area (BA) were used as covariates of the tree and stand biomass models respectively. Effect of basal area (BA) and site index (S_i) on AGB and BGB were examined. Best models were selected based on mainly Akaike Information Criterion (AIC) and visual interpretation of model diagnostics. Cross-validation statistics of percent bias, root mean square percentage error (RMSPE),

and mean absolute percent error (MAPE) were computed by randomly splitting data 200 times into model development (70%) and validation (30%) datasets and averaging over the 200 realizations. Using the method of power nonlinear weighted Maximum Likelihood and taking into account the effect of stand factors obtained the reliability higher than commonly used method is logarithmic linear least squares. The cross-validation provided quantifiable errors of the developed models. The selected models using the predictor variables measured and monitored by local communities for estimating AGB and BGB were the equation forms $AGB = a_i \times DBH^b$ (a_i are parameters associated with S_i) and $BGB = a \times DBH^b$; for estimating TAGB and TBGB were $TAGB = a \times BA^b$ and $TBGB = a \times BA^b$. Using the stand biomass models reduce the data collection but MAPE increase 9-12% compared to the tree biomass models.

Keywords: *Biomass model, community, participatory, simple predictor variable.*

Người phản biện: GS.TS. Võ Đại Hải

Ngày nhận bài: 30/9/2016

Ngày thông qua phản biện: 02/11/2016

Ngày duyệt đăng: 9/11/2016