



CRESCIMENTO DIAMÉTRICO DE *Pinus radiata* E *Pinus oocarpa* EM COMUNIDADES RURAIS NOS ANDES CENTRAIS DO PERU

Brayan Anthony Guerra Guerra¹, Osir Daygor Vidal Alanya², Fressia Nathalie Ames-
Martínez², Ernesto Chanes Rodríguez-Ramírez²

1 Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil. E-mail: guerrag.anthony@gmail.com

2 Universidad Continental, Huancayo, Peru. E-mail: osir.vidal@gmail.com; fressiames@gmail.com; erodriguezr@continental.edu.pe

Autor correspondente: Brayan Anthony Guerra Guerra. E-mail: guerrag.anthony@gmail.com.

RESUMO

O gênero *Pinus* é uma das espécies madeireiras mais superexploradas do mundo, Peru não é exceção. Esse gênero é de grande importância econômica, embora pouco se saiba sobre o crescimento em diâmetro. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi preencher as lacunas de informação sobre o crescimento do diâmetro de duas espécies de pinheiro (*Pinus radiata* e *Pinus oocarpa*) nos Andes centrais do Peru, usando técnicas dendrocronológicas. A largura do anel e o modelo biológico de von-Bertalanffy forneceram dados precisos sobre o crescimento do diâmetro. Os resultados mostraram que, em ambas espécies, tanto o incremento corrente anual (ICA) e incremento médio anual (IMA) são maximizados em idades curtas; a *P. radiata* requer entre 10 e 7 anos para um IMA de 1,63 e 1,76 cm ano⁻¹ (Acopalca e Tingo-Paccha). Enquanto isto, a *P. oocarpa* tem IMA de 8 anos para Ingenio e Colpar, com taxas de 6,93 e 6,35 cm ano⁻¹. Quanto à ICA da *P. radiata*, requer de 5 a 4 anos, com taxas de 1,76 e 1,89 cm ano⁻¹ (Acopalca e Tingo-Paccha). Da mesma forma, o ICA em *P. oocarpa* é semelhante ao de *P. radiata*, mas com taxas mais altas de. Essas informações orientarão a sustentabilidade do manejo florestal de pinheiros nos Andes centrais do Peru.

Palavras-chave: Dendrocronologia; espécies madeireiras; plantações florestais

DIAMETRIC GROWTH OF *Pinus radiata* AND *Pinus oocarpa* IN RURAL COMMUNITIES OF THE HIGH CENTRAL PERUVIAN ANDES

ABSTRACT

The genus *Pinus* is one of the most overexploited timber species in the world, and Peru is no exception. This genus is of great economic importance, although little is known about its silvicultural traits. In this context, the objective of this research was to fill the information gaps on the diameter growth of two pine species (*Pinus radiata* and *Pinus oocarpa*) in the central Peruvian Andes, through dendrochronological techniques. The ring width and von-Bertalanffy biological model provided accurate data on diameter growth. The results showed that, in both species, both the current annual increment (ICA) and average annual increment (IMA) are maximized at short ages; *P. radiata* requires between 10 and 7 years for IMA of 1.63 and 1.76 cm yr⁻¹ (Acopalca and Tingo-Paccha). Meanwhile, *P. oocarpa* has IMA of 8 years for Ingenio and Colpar, with rates of 6.93 and 6.35 cm yr⁻¹. The ICA of *P. radiata* requires 5 to 4 years with rates of 1.76 and 1.89 cm yr⁻¹ (Acopalca and Tingo-Paccha). Likewise, the ICA in *P. oocarpa* is similar to *P. radiata*, but with higher rates. This information will guide the sustainability of pine forest management in the central Peruvian Andes.

Key words: Dendrochronology; timber species; forest plantations

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

As plantações para fins produtivos oferecem oportunidades para combater os altos índices de pobreza rural, o desmatamento acelerado e as mudanças climáticas globais.

O Peru é um dos países da América Latina que menos contribuiu para o mercado mundial de produtos florestais e para sua própria economia nacional (FAO, 2007), apesar de possuir a segunda maior área florestal da América Latina (INRENA, 2007). As razões para as ações florestais deficientes do Estado peruano se devem à falta de informações sobre o planejamento do uso das terras florestais, às práticas inadequadas de manejo silvicultural, às sementes de baixa qualidade genética e de origem desconhecida e ao baixo índice pluviométrico típico das bacias andinas centrais.

Para superar os vários problemas mencionados acima nos Andes centrais, é necessário entender a silvicultura de árvores e os modelos de crescimento, que são fundamentais para o planejamento, o gerenciamento e a produção eficientes da plantação. Certamente, os modelos de crescimento são úteis em estudos de manejo florestal, pois nos fornecem dados precisos que estimam as características silviculturais de uma espécie em um período de tempo (Imaña & Encinas, 2008). Para modelar uma espécie, são necessárias informações sobre o incremento anual em função da idade, e essas informações podem ser obtidas por meio de parcelas permanentes ou técnicas dendrocronológicas (Bowman *et al.*, 2013). Entretanto, as parcelas permanentes têm muitas desvantagens em comparação com as técnicas dendrocronológicas. Por exemplo, o estabelecimento e a coleta de dados em uma parcela permanente exigem viagens repetidas por longos períodos, ou seja, custos mais altos. Em contrapartida, as técnicas dendrocronológicas exigem apenas algumas expedições, reduzindo os custos e o tempo ao mínimo (Giraldo & Del Valle, 2012). Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo modelar o crescimento do diâmetro de *Pinus radiata* e *Pinus oocarpa* nos Andes centrais do Peru usando técnicas dendrocronológicas.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada em quatro plantações de *Pinus* na região de Junín: (1) comunidade rural de Tingo Paccha (11°88', 75°24'; 4016 m), província de Jauja (*P. radiata*); (2) comunidade rural de Acopalca (11°62', 75°61'; 4025 m) (*P. radiata*); (3) comunidade rural de Ingenio (11°74', 75°16'; 3546 m) (*P. oocarpa*); e (4) comunidade rural de Colpar (11°91', 75°24'; 3559 m) (*P. oocarpa*); essas três últimas áreas pertencem à província de Huancayo.

Amostragem de árvores e desenvolvimento de cronologia

Os núcleos de incremento foram extraídos com um trado Pressler. Foram extraídos 70 núcleos para cada área de estudo e espécie (280 no total). Posteriormente, os núcleos foram condicionados para processamento conforme indicado por Stokes & Smiley (1996): a superfície transversal do núcleo foi polida com uma lixadeira e uma lixa (80-600 gramas cm²) progressivamente até obter

uma superfície adequada. Com a ajuda de um estereoscópio, os anéis de cada núcleo previamente preparado foram contados e analisados. Por fim, os anéis foram medidos com o equipamento Velmex com uma precisão de 0,001 mm. Para corroborar a qualidade da datação e a precisão da medição de cada anel, eles foram verificados por meio do software COFECHA.

Correção da largura do anel

Geralmente, a medula das árvores não coincide com o centro geométrico de um círculo, porque fatores exógenos fazem com que os anéis se aglomerem em algumas direções e se espalhem em outras. Se este erro não for ajustado, o anel medido superestimar ou subestimar o crescimento. Para isto, a correção foi feita de acordo com a equação proposta por Giraldo & Del Valle (2012).

Modelagem do crescimento diamétrico

O modelo de von-Bertalanffy apresenta duas maneiras de estimar o crescimento do diâmetro: o modelo "1" em sua forma diferencial e o modelo "6" como integrado. Estudos anteriores demonstraram a validade e a solvência do modelo 6 para a estimativa de parâmetros devido à sua origem teórica, versatilidade e amplo uso silvicultural (Inga & Del Valle, 2017; Requena-Rojas *et al.*, 2020).

Análise estatística

O teste Kolmogorov - Smirnov (K-S) foi usado para avaliar a normalidade dos resíduos. A estatística Durbin - Watson (D-W) foi usada para avaliar a independência dos dados e o teste Breusch - Pagan (B-P) para heterocedasticidade. Na validação independente, os dados da randomização independente de D e t foram usados, e um teste t de Student foi aplicado para determinar se havia diferenças estatisticamente significativas.

Características silviculturais

A partir do modelo “6” de von-Bertalanffy, sugerido por Inga & Del Valle (2017), as características silviculturais das espécies foram estimadas por meio dos modelos da Tabela 1.

Tabela 1. Modelos derivados do modelo “6” de von-Bertalanffy para a estimativa de características silviculturais

Características silviculturais	Modelos
Vida útil (tvital)	$t_{vital} = \frac{A}{TCAP} + \varepsilon_i$
Meia-vida (t0.5)	$t_{0.5} = \ln\{[1 - (0.5)^{(1-m)}] / b\} / k$
Incremento corrente anual (ICA)	$dD/dt = ICA = Akbe^{-k(t)}(1 - be^{-k(t)})^{\frac{m}{(1-m)}} / (1 - m) + \varepsilon_i$
Incremento médio anual (IMA)	$(D/t) = IMA = \left[A(1 - be^{-k(t)})^{\frac{1}{(1-m)}} - D_0 \right] / t + \varepsilon_i$
Taxa de crescimento absoluto ponderado (TCAP)	$\frac{dD}{dt} = 1/A \int_{D=0}^{D=A} (\eta D^m - \gamma D) dD = kA/2(m + 1) + \varepsilon_i$
Taxa de crescimento relativo (TCR)	$(1/D)(dD/dt) = TCR = \frac{k}{(1 - m)} e^{-k*t} (1 - e^{-k(t)})^{\frac{(m-1)}{(1-m)}} + \varepsilon_i$
Taxa de crescimento relativo ponderado (TCRP)	$(1/D)(dD)/dt = \frac{1}{A} \int_{D=0}^{D=A} (\eta D^m - \gamma D) dD/D = k/m + \varepsilon_i$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As cronologias principais apresentaram altos coeficientes de correlação; em *P. radiata*; Tingo Paccha ($r=0,589$) com 20 anos (1999-2018), Acopalca ($r=0,632$) com 18 anos (2001-2018); e em *P. oocarpa*, Ingenio ($r=0,560$) com 57 anos (1962-2018), Colpar ($r=0,718$) com 36 anos (1985-2020), esses coeficientes garantem datações e medições corretas.

A aplicação do modelo von-Bertalanffy foi capaz de satisfazer os estimadores paramétricos e as premissas de regressão (Tabela 2), como em Requena-Rojas *et al.* (2020) e Inga & Del Valle (2017). No entanto, há alguns anos, estudos de crescimento usando anéis representavam apenas uma curva média suavizada sem aparentemente usar modelos (Rozendaal & Zuidema, 2011). Enquanto outros usaram modelos, mas não mencionaram como superaram a autocorrelação, a heterocedasticidade e a não normalidade dos resíduos, nem a validação (Varas & Alvarado, 2012), que foram aplicadas neste estudo.

Tabela 2. Estimadores paramétricos e verificação das premissas do modelo 6 de von-Bertalanffy

Comunidades rurais	Espécie	Tipo de validação	Estimativas dos parâmetros e estatísticas dos modelos									
			S-W	K-S	B-P	D-Ws	Em	A	k	m	t-Student	Qui-quadrado
Acopalca	<i>Pinus radiata</i>	Validação	0,000003	0,23	0,48	2,03	0,84	54	0,05	0,22	0,39	0,72
		Autovalidação	0,000642	0,29	0,37	2,05	0,84	55	0,05	0,22	0,82	0,54
Tingo Paccha	<i>Pinus radiata</i>	Validação	0,03	0,25	0,1	2,04	0,88	46	0,07	0,21	0,39	0,23
		Autovalidação	0,003	0,57	0,41	2,07	0,88	45	0,07	0,27	0,24	0,11
Ingenio	<i>Pinus oocarpa</i>	Validação	0,01	0,49	0,15	2,01	0,59	88	0,01	0,63	0,07	0,003
		Autovalidação	0,00	0,18	0,63	1,92	0,6	87	0,01	0,54	0,83	0,83
Colpar	<i>Pinus oocarpa</i>	Validação	0,15	0,61	0,98	2,03	0,53	89	0,01	1,16	0,07	0,04
		Autovalidação	0,37	0,73	0,09	2,07	0,52	91	0,05	1,18	0,01	0,01

O ICA e o IMA da *P. radiata* e da *P. oocarpa* são maximizados em idades consideravelmente curtas (Tabela 3). A *P. radiata* em Tingo Paccha precisa de 7 anos para maximizar seu IMA com uma taxa de $1,76 \text{ cm ano}^{-1}$, enquanto em Acopalca o IMA ocorre aos 10 anos com uma taxa de $1,63 \text{ cm ano}^{-1}$, mostrando que os indivíduos mais jovens atingem taxas mais altas em comparação com aqueles com maior longevidade. Da mesma forma, Pineda Antonio *et al.* (1991), no México, indicam que o IMA de espécies jovens requer 8 anos, com taxas de $1,54 \text{ cm ano}^{-1}$, enquanto os espécies mais longevos requerem 22 anos, com taxas de cm ano^{-1} . Esta versatilidade das taxas encontradas reflete as mudanças nas dimensões com relação à idade (Lieberman, 1985). Por outro lado, a *P. oocarpa* alcançou seu IMA máximo aos 8 anos para Ingenio e Colpar, mas com taxas máximas de $6,93$ e $6,35 \text{ cm ano}^{-1}$, respectivamente. Em contraste, estudos realizados em florestas naturais de *P. oocarpa* na Guatemala mostram um IMA máximo com taxas mais baixas ($0,86$ a 5 cm ano^{-1}) (Avila Folgar, 2003) em comparação com este estudo. As taxas encontradas neste estudo são mais altas do que as do habitat natural dessa espécie, o que provavelmente se deve ao regime hídrico localizado próximo às áreas de estudo. Estudos realizados na Argentina, no Chile e na Guatemala com *P. radiata* e *P. oocarpa* indicam que as taxas de ICA são maximizadas de $1,48$ a $1,96 \text{ cm ano}^{-1}$ (Ferrere *et al.*, 2015). No entanto, os resultados obtidos neste estudo são mais altos do que nos países mencionados acima.

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Tabela 3. Características silviculturais e taxas de crescimento de *Pinus radiata* e *Pinus oocarpa* nas Comunidades Rurais de Acopalca, Tingo Paccha, Ingenio e Colpar

Características	<i>Pinus radiata</i>		<i>Pinus oocarpa</i>	
	Acopalca	Tingo Paccha	Ingenio	Colpar
A_{max} (cm)	54	46	88	89
t_{vital} (anos)	47	37	299	200,
$t_{0.5}$ (anos)	24	21	142	36
Idade $_{Max. ICA}$ (anos)	5	4	4	5
ICA_{Max} (cm ano $^{-1}$)	1,76	1,89	9,19	8,54
Idade $_{Max IMA}$ (anos)	10	7	8	8
IMA_{Max} (cm ano $^{-1}$)	1,63	1,76	6,93	6,35
$TCAP$ (cm ano $^{-1}$)	1,16	1,25	0,62	1,44
$TCRP$ (cm ano $^{-1}$)	24,28	31,71	0,84	0,44
TBC (anos)	10	7	8	9

CONCLUSÃO

O modelo de von-Bertalanffy e o uso de anéis de crescimento forneceram informações específicas sobre as características silviculturais de *Pinus radiata* e *Pinus oocarpa* na região central dos Andes peruanos.

AGRADECIMENTOS

A FINCyT (086-2018-FONDECYT-BM-IADT-SE) pelo financiamento do estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avila Folgar, R. I. **Evaluación del estado y crecimiento inicial de cuatro especies prioritarias (*Pinus maximinoi* H.E. Moore, *Pinus caribaea* Morelet, *Pinus oocarpa* Schiede y *Tectona grandis* L.F.), del Programa de Incentivos Forestales en la región 2, en los departamentos de Alta y Baja Verapaz, Guatemala.** 2003. 173f. Tesis (Maestría en Agronomía Tropical) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, 2003.
- Bowman, D. M. J. S.; Brienen, R. J. W.; Gloor, E.; Phillips, O. L.; Prior, L. D. Detecting trends in tree growth: Not so simple. **Trends in Plant Science**, v. 18, n. 1, p.11–17, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.08.005>.
- Ferrere, P.; Lupi, A. M.; Boca, T. Crecimiento del *Pinus radiata* sometido a diferentes tratamientos de raleo y poda en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. **Bosque**, v. 36, n. 3, p.423–434, 2015. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002015000300009>.
- Food and Agriculture Organization - FAO. Programas y Proyectos. Perú. **Evaluación del potencial de consorcios para la reforestación en la Sierra Peruana.** Roma: Programa de Cooperación FAO/Banco Mundial Servicio de América Latina y el Caribe División del Centro de Inversiones, 2007. 60p. Disponível em: <https://www.fao.org/3/k0379s/k0379s00.pdf>. Acesso em: 29 Mar. 2023.
- Giraldo, V. D.; Del Valle, J. I. Modelación del crecimiento de *Albizia niopoides* (Mimosaceae) por métodos dendrocronológicos. **Revista de Biología Tropical**, v. 60, n. 3, p.1117–1136, 2012. <https://doi.org/10.15517/rbt.v60i3.1762>.
- Imaña, J. y Encinas, O. **Epidometria forestal.** Brasilia: Universidade de Brasilia, Departamento de Engenharia Florestal; Mérida: Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. 2008. 72p. <https://doi.org/10.26512/9788587599315>.
- Inga, J. G.; Del Valle, J. I. Log-relative growth: A new dendrochronological approach to study diameter growth in *Cedrela odorata* and *Juglans neotropica*, Central Forest, Peru. **Dendrochronologia**, v. 44, p.117–129, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.03.009>.
- Instituto Nacional de Recurso Naturales - INRENA. **Nuestro planeta peligra.** Lima: INRENA. 2007.
- Liberman, C. M. Microclima y distribución de *Polylepis tarapacana* en el Parque Nacional del Nevado Sajama. **Documents Phytosociologiques**, v. 10, p.235–272, 1985.
- Pineda Antonio, S.; Vázquez Soto, J.; Rodríguez Trejo, D. La Autoecología del *Pinus radiata* en la Cuenca de México. **Revista Ciencia Forestal en Mexico**, v. 16, n. 69, p.107-123, 1991. Disponível em: <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1117>. Acesso em: 22 Jun. 2023.

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Requena-Rojas, E. J.; Crispín Dela-Cruz, D. B.; Ticse-Otarola, G.; Quispe-Melgar, H. R. *et al.* Temporal growth variation in high-elevation forests: case study of *Polylepis* Forests in Central Andes. In: Pompa-García, M.; Camarero, J. J. (Ed.s). **Latin American dendroecology**. Cham: Springer, 2020. p. 263-279. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36930-9_12.

Rozendaal, D. M. A.; Zuidema, P. A. Dendroecology in the tropics: A review. **Trees**, v. 25, n. 1, p.3–16, 2011. <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0480-3>.

Stokes, M. A.; Smiley, T. L. **An introduction to tree-ring dating**. 2.ed. Tucson: University of Arizona Press, 1996. 73p.

Varas, D.; Alvarado, J. **Análisis del crecimiento de *Alnus acuminata* (aliso) en bosque natural y plantado en la margen izquierda del valle del Mantaro a través de técnicas dendrocronológicas**. La Molina: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2012. Disponível em: http://www.lamolina.edu.pe/gaceta/edicion2012/notas/nota124_c.htm. Acesso em: 12 Jun. 2023.