



Métodos geométricos para estimar alturas de fustales y árboles maduros en Acraquia, Perú

Geometric methods to estimate heights of stems and mature trees in Acraquia, Peru

Métodos geométricos para estimativa de alturas de caules e árvores maduras em Acraquia, Peru

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i23.278>

Jairo Edson Gutiérrez-Collao¹
jairo.gutierrez@unat.edu.pe

Charles Frank Saldaña-Chafloque¹
charlessaldana@unat.edu.pe

Wilfredo Tello Zevallos²
wilfredo.tello@unas.edu.pe

Evelyn Ruth Palomino Santos¹
evyruth20@gmail.com

Camila Valentina Carrasco Llaique¹
camilacarrasco@unat.edu.pe

Esmila Yeime Chavarría Márquez¹
esmila.418@gmail.com

¹Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo. Pampas, Perú

²Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú

Artículo recibido 18 de marzo 2024 / Arbitrado 16 de abril 2024 / Publicado 2 de mayo 2024

RESUMEN

La evaluación del crecimiento en altura es imprescindible en la optimización de la ordenación forestal y la obtención del producto maderable. **Objetivo.** Comparar los métodos geométricos leñador, de unidades, 1:10 y de sombras, para estimar alturas de fustales y árboles maduros de una plantación de *Eucalyptus* spp en Acraquia, Perú. **Materiales y Métodos.** El diseño de la investigación fue experimental al azar, con un arreglo factorial 4X2. Se estimó la altura de 320 individuos de una plantación de 11 años de edad, se utilizaron estacas de 3 m y cinta métrica de 30 m. Para los análisis estadísticos se usaron la prueba de Kolmogorov-Smirnov, la de Levene y Duncan. Los **resultados** indican que no existe diferencia significativa entre los métodos geométricos, pero sí entre fustales y árboles maduros. **Conclusiones.** La estimación de alturas puede efectuarse, utilizando cualquiera de los métodos comparados, lo que contribuye a optimizar el uso del tiempo, personal y equipos, ya que no es necesario invertir en uno en particular.

Palabras clave: Árboles maduros; Estimación de altura; Fustales; Métodos geométricos

ABSTRACT

The evaluation of growth in height is essential in optimizing forest management and obtaining timber products. **Aim.** Compare the geometric methods lumberjack, units, 1:10 and shadows, to estimate heights of stems and mature trees of a *Eucalyptus* spp plantation in Acraquia, Peru. **Materials and methods.** The research design was randomized experimental, with a 4X2 factorial arrangement. The height of 320 individuals from an 11-year-old plantation was estimated; 3 m stakes and a 30 m measuring tape were used. For statistical analyses, the Kolmogorov-Smirnov test and the Levene and Duncan test were used. The **results** indicate that there is no significant difference between the geometric methods, but there is a significant difference between stems and mature trees. **Conclusions.** The estimation of heights can be carried out using any of the compared methods, which helps to optimize the use of time, personnel and equipment, since it is not necessary to invest in one in particular.

Key words: Mature trees; Height estimation; Shafts; Geometric methods

RESUMO

A avaliação do crescimento em altura é essencial na otimização do manejo florestal e na obtenção de produtos madeiros. **Mirar.** Comparar os métodos geométricos, lenhador, unidades, 1:10 e sombras, para estimar alturas de caules e árvores maduras de uma plantação de *Eucalyptus* spp em Acraquia, Peru. **Materiais e métodos.** O delineamento da pesquisa foi experimental casualizado, com arranjo fatorial 4X2. Foi estimada a altura de 320 indivíduos de um plantio com 11 anos de idade; foram utilizadas estacas de 3 m e fita métrica de 30 m. Para análises estatísticas foram utilizados o teste de Kolmogorov-Smirnov e o teste de Levene e Duncan. Os **resultados** indicam que não há diferença significativa entre os métodos geométricos, mas há diferença significativa entre caules e árvores maduras. **Conclusões.** A estimativa de alturas pode ser realizada por qualquer um dos métodos comparados, o que ajuda a otimizar o uso de tempo, pessoal e equipamentos, já que não é necessário investir em nenhum em particular.

Palavras-chave: Árvores maduras; Estimativa de altura; Veios; Métodos geométricos

INTRODUCCIÓN

La altura de los individuos arbóreos es un atributo acerca de la dinámica del crecimiento en volumen y biomasa, que es imprescindible en la optimización de la ordenación forestal, en la identificación y cuantificación de estos recursos, en el estudio del valor ecológico y económico de las masas boscosas, en la investigación del efecto del clima en su crecimiento y en la obtención del producto maderable; sentando las bases para una gestión apropiada del aprovechamiento y manejo sostenible (1,2). Esto la convierte, según Krause (3) y Appiah (4), en una de las estructuras verticales más importantes, siendo el parámetro principal para estimar el volumen de los bosques, que puede medirse de manera tradicional de dos formas, que se clasifican como no destructivas o destructivas, siendo esta última la que se basa en la medición repetida de los individuos (5,6).

Existen métodos para obtener información acerca del crecimiento de la altura mediante datos de escaneo láser multitemporales, pero no existe para derivar dicha información con datos adquiridos en un único momento; en el que se examine la posibilidad de medir las posiciones verticales de los verticilos de las ramas, que pertenecen a los nodos, y que podrían emplearse para rastrear el crecimiento en altura de individuos arbóreos (7). Existen otros, no destructivos, que recopilan los datos por teledetección, particularmente con el Escaneo Láser Aerotransportado (ALS), cada vez más

usados para medir la altura y obtener información acerca de la productividad de los lugares a gran escala espacial (8-11).

Los árboles maduros en bosques naturales como los de Acraquia en Perú, pueden alcanzar grandes alturas, a menudo superando los 30 metros. En bosques de neblina como los de esta región, la vegetación densa y la topografía accidentada resulta difícil medir alturas directamente, por lo que se hace necesario aplicar métodos que ofrezcan una alternativa viable en estos ecosistemas. Teniendo en cuenta lo antes mencionado, la investigación tuvo como objetivo comparar los métodos geométricos, leñador, método de unidades, método 1:10 y el método de sombras, para estimar alturas de fustales y árboles maduros de una plantación de *Eucalyptus* spp en Acraquia, Huancavelica, Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en una plantación de *Eucalyptus* spp., específicamente en un área de 1 hectárea, ubicada en la comunidad andina Acraquia, provincia Tayacaja, región Huancavelica, Perú; con coordenadas 12°24'35" latitud sur y 74°54'00" longitud oeste, a una altitud de 3280 m.s.n.m. (12).

Muestra

Los 320 individuos arbóreos medidos tienen una edad estimada de 11 años y una altura promedio de 18 metros. El lugar presenta una

temperatura media anual de 12°C y un promedio de precipitación de 780 mm, con una clasificación de bosque seco – montano tropical (12).

Procedimientos y técnicas

Las alturas se estimaron con métodos basados en principios geométricos, empleando un flexómetro de 50 m en la demarcación del área de investigación y en la medición de distancias horizontales; estacas de 3 m para método de leñador y de unidades; estaca graduada en decímetros, método 1:10; lapicero, método de unidades; y formato de evaluación. En el método 1:10 y el de sombras se implementaron las leyes trigonométricas.

Existen varias categorías de clasificación de individuos forestales; sin embargo, en la investigación solo se consideraron los fustales, individuos arbóreos de $10 \text{ cm} \leq \text{DAP} < 40 \text{ cm}$ y árboles maduros, individuos arbóreos con D.A.P. $> 40 \text{ cm}$, por ser de interés comercial para los pobladores de la zona (13).

El diseño de la investigación fue experimental al azar, con un arreglo factorial 4X2,

siendo el primer factor los métodos geométricos: método leñador, unidades, 1:10 y de sombras. El segundo lo conformaron las categorías de individuos forestales evaluados: fustales y árboles maduros.

Después del procesamiento de los datos se comprobaron los supuestos básicos del análisis de varianza, ANVA. Para la normalidad de los datos se usó la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la homocedasticidad con la prueba de Levene, al no cumplirse la normalidad. Para la realización de los ANVA se utilizó el paquete estadístico SASV9.2 (14).

RESULTADOS

La mayor cantidad de individuos forestales con alturas que oscilan entre 23,6 y 35,4 m se reportó con el método geométrico leñador, mientras que el menor número en este rango de alturas se registró con el método geométrico unidades Tabla 1. La variación de los datos de altura en torno a la cantidad de individuos por clase de altura es producto del error aleatorio, porque se estimó la altura con distintos métodos geométricos.

Tabla 1. Altura de los árboles según métodos geométricos.

N°	Clase de altura (m)	1:10		Leñador		Sombra		Unidades	
		fi	%	fi	%	fi	%	fi	%
1	[0 - 11,8>	46	14,4	51	15,9	59	18,4	73	22,8
2	[11,8 - 23,6>	182	56,9	172	53,8	177	55,3	182	56,9
3	[23,6 – 35,4]	92	28,8	97	30,3	84	26,3	65	20,3
Total		320	100,0	320	100,0	320	100,0	320	100,0

Respecto a los descriptivos estadísticos de cada método geométrico para estimar las alturas de los individuos forestales, la media aritmética proporciona una relación entre el método geométrico leñador con el 1:10, existiendo una diferencia de 0,05 m entre ambos; así como entre el método sombra con el método unidades, con una diferencia de 0,41 m. Los resultados

muestran que la dispersión de los datos en relación a la media no es muy elevada. El método geométrico sombra presenta la mayor dispersión en comparación con los demás métodos. Por el contrario, el método geométrico 1:10 registra la menor dispersión de los valores con respecto al promedio Figura 1.

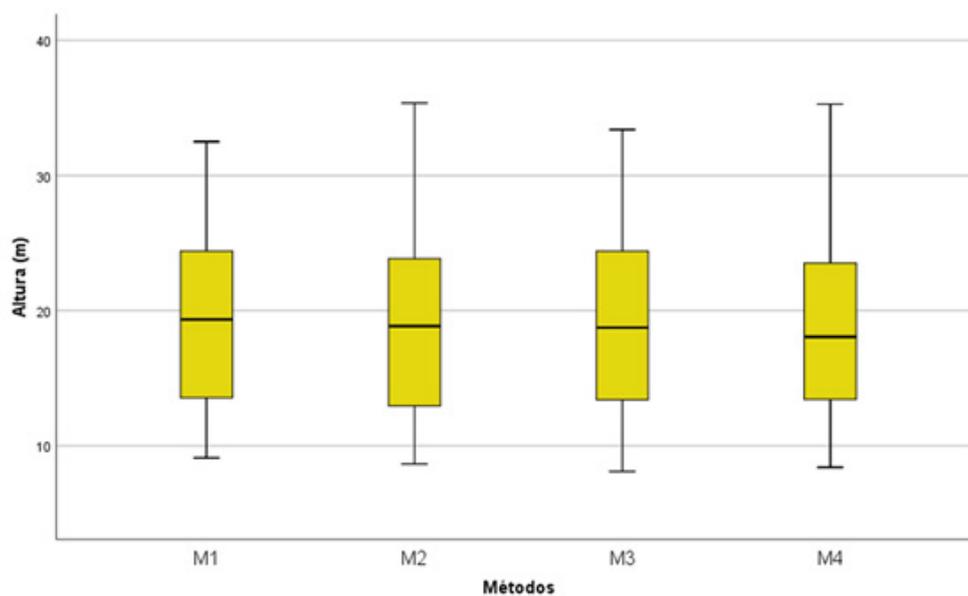


Figura 1. Gráfico de caja de la altura por método geométrico. M1: Método de leñador. M2: Método sombra. M3: Método 1:10. M4: Método de unidades

Se verificó la distribución anormal de los datos de altura con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la homocedasticidad con la prueba de Levene. Asimismo, se aplicó el análisis de varianza con datos no transformados y datos transformados, puesto que el ANVA se considera una prueba robusta ante el incumplimiento del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas; además, los tratamientos tuvieron las mismas repeticiones, es decir, estuvo balanceado y la muestra no se consideró reducida (15, 16).

El método geométrico 1:10 reportó la mayor altura de los fustales y árboles maduros, mientras que la menor altura se registró con el método geométrico unidades Tabla 2. El análisis de varianza reporta que no existe diferencia significativa entre los métodos geométricos ($p=0,450$). Este resultado permite determinar que los métodos son estadísticamente equivalentes para estimar la altura de los árboles en el contexto del estudio. Cualquiera de ellos puede ser utilizado con resultados

similares; al no existir diferencias significativas, la elección del método a utilizar se flexibiliza y puede basarse en otros criterios como facilidad de aplicación, disponibilidad de equipos, preferencias del personal, entre otros.

En resumen, estos resultados permiten seleccionar de manera flexible el método más apropiado para estimar alturas de árboles, optimizando recursos y facilitando la toma de decisiones en el manejo forestal.

Tabla 2. Efecto simple para métodos geométricos.

Métodos	Promedio	Duncan (p<0,05)
1:10	19,22 ± 0,33	a
Leñador	19,21 ± 0,34	a
Sombra	18,71 ± 0,36	a
Unidades	18,28 ± 0,36	a

La categoría árboles maduros reportó la mayor altura, mientras que la menor se registró con la categoría fustales Tabla 3. El análisis de varianza reporta que existe diferencia significativa entre las categorías de individuos forestales (p=0,000). Esta diferencia en altura puede tener implicaciones importantes en términos de manejo forestal, crecimiento de la masa y biodiversidad, ya que los árboles maduros suelen desempeñar roles ecológicos distintos en comparación con los árboles jóvenes o fustales.

La información proporcionada por estos resultados puede ser crucial para la planificación y gestión forestal, permitiendo identificar áreas con árboles maduros de mayor altura y fustales más bajos, lo que puede influir en decisiones de manejo, conservación y aprovechamiento de recursos forestales, lo que resalta la importancia de considerar las diferencias en altura entre ellos, en el contexto forestal estudiado, lo que puede guiar estrategias de manejo forestal más efectivas y sostenibles.

Tabla 3. Efecto simple para categorías de individuos forestales.

Categorías	Promedio	Duncan (p<0,05)
Árbol maduro	25,57 ± 0,26	a
Fustal	16,91 ± 0,17	b

La interacción del método geométrico sombra con la categoría árbol maduro, tratamiento 4, reportó la mayor altura; la menor

se registró con el tratamiento 8, que corresponde a la interacción del método geométrico unidades con la categoría fustales Tabla 4.

Tabla 4. Efecto simple para la interacción métodos geométricos–categoría de individuos forestales.

Tratamiento		Categoría	Promedio	Duncan (p<0,05)
T1	Leñador	Fustal	17,3 ± 0,6	a
T2		Árbol Maduro	25,8 ± 0,6	b
T3	Sombra	Fustal	16,6 ± 0,6	a
T4		Árbol Maduro	26,2 ± 0,6	b
T5	1/10	Fustal	17,5 ± 0,3	a
T6		Árbol Maduro	25,0 ± 0,3	b
T7	Unidades	Fustal	16,2 ± 0,3	a
T8		Árbol Maduro	25,3 ± 0,3	b

Esto sugiere que el método sombra es efectivo para estimar alturas de árboles maduros en el contexto del estudio. Esto podría implicar que el método unidades no es tan preciso para estimar alturas de árboles jóvenes o fustales en comparación con otras categorías. Sin embargo, el análisis de varianza reporta que no existe una diferencia significativa entre la interacción método*categoría (p=0,163). Esto quiere decir que estadísticamente, no hay una diferencia importante en las alturas estimadas cuando se considera la interacción entre el método geométrico utilizado y la categoría de individuo forestal (árbol maduro o fustal).

DISCUSIÓN

En la investigación se emplearon cuatro métodos geométricos para la estimación de alturas de 320 árboles de *Eucalyptus spp.*, lo que coincide con lo mencionado por Ceylan et al., (17), al referir que la determinación de la altura se clasifica como nivelación geométrica, así como también en nivelación trigonométrica, dependiendo de los instrumentos utilizados o de los métodos

aplicados. Para Juárez (18), cuando las mediciones son cuidadosamente realizadas, los resultados obtenidos a través del principio trigonométrico son más precisos de aquellos resultantes por principios geométricos.

En la investigación no se determinan diferencias significativas entre los métodos, por lo que pueden ser usados de manera equivalente, lo que concuerda con Fuentes (19), no se puede afirmar que un método sea mejor que otro en general. Para Kees et al., (20), la elección dependerá de factores como la precisión requerida, las condiciones del terreno, la disponibilidad de equipos y la experiencia del personal. Es recomendable evaluar las ventajas y desventajas de cada método en el contexto específico para determinar cuál es el más apropiado.

En la presente investigación se comprueba que existe diferencia significativa en la altura promedio entre los árboles maduros y los fustales, lo que coincide con lo obtenido por Cruzado (21), que determina la evaluación del crecimiento e incremento en plantaciones de *Pinus radiata*

D. Don de tres edades diferentes, 8, 12 y 22 años, en el Centro Poblado "Cobro Negro", del Distrito de San Silvestre de Cochán, Provincia de San Miguel, Departamento de Cajamarca, Perú. El incremento total, en sus diferentes edades mostró resultados variables en la altura total, 9.4 m, 12.8 m, 15.4 m, a los 8 años, 12 años y 22 años respectivamente. Los árboles maduros tienen una altura promedio significativamente mayor que los fustales.

Los métodos geométricos como la sombra y las unidades se basan en principios de igualdad de triángulos y proporcionalidad para estimar alturas a distancia. Aunque el resultado de la presente investigación sugiere diferencias en la efectividad de estos métodos según la categoría de árbol, se coincide con Senilliani et al., (22), cuando plantea que la falta de significancia estadística entre estos métodos indica que, en general, son herramientas válidas para estimar alturas. Sin embargo, Juárez (18), considera que el método sombra tiene algunas limitaciones, como no poder usarse en días nublados, cuando las sombras son muy cortas al mediodía o muy largas al atardecer. Además, a veces es difícil medir con precisión el límite de la sombra de los árboles. Este autor considera que los métodos geométricos como el leñador y el de unidades también pueden ser utilizados para estimar alturas de árboles maduros, aunque no menciona específicamente su efectividad en comparación con el método sombra.

Se concuerda con Jurjević et al., (23), quienes, al igual que en la presente investigación, no se

llegaron a sobreestimar las alturas de los árboles, debido a que se consideró una pauta estricta para la estimación de alturas, garantizando una geometría buena de visualización, a pesar, que existe tolerancia para errores en la estimación de alturas, fijada en $\pm 5\%$ para coníferas y $\pm 10\%$ para caducifolios, así como un límite de error máximo de ± 2 m para ambos tipos de individuos arbóreos.

CONCLUSIONES

El método geométrico leñador, reportó la mayor cantidad de individuos forestales con alturas entre 23,6 y 35,4 metros, mientras que el de unidades registró el menor número en este rango de alturas. La dispersión de los datos en relación a la media no es muy elevada, siendo el método geométrico sombra el que presenta la mayor dispersión, mientras que el método 1:10 registra la menor dispersión con respecto al promedio y la mayor altura de los fustales y árboles maduros, mientras que la menor altura se registró con el método unidades.

La categoría árboles maduros reportó la mayor altura, la menor se registró con los fustales y la interacción del método geométrico sombra con la categoría árbol maduro, registró la mayor altura, mientras que la menor se alcanzó con la interacción del método geométrico unidades con la categoría fustales.

CONFLICTO DE INTERESES. Declaramos no tener ningún tipo de conflicto de interés que influyera en los resultados o en las interpretaciones de la investigación efectuada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alberdi I, Sandoval V, Condes S, Cañellas I, Vallejo R. The Spanish National Forest Inventory, a tool for the knowledge, management and conservation of forest ecosystems. *Ecosistemas* (I): 2016; 25(3):88-97. <https://acortar.link/TDCsAq>
2. Kershaw Jr J, Ducey M, Beers T, Husch B. Forest mensuration. West Sussex, UK: John Wiley & Sons; 2016. <https://acortar.link/OFn07Z>
3. Krause S, Sanders T, Mund J, Greve K. UAV-based photogrammetric tree height measurement for intensive forest monitoring. *Remote sensing*. 2019; 11(7):758. <https://acortar.link/KZQUNT>
4. Appiah A, Holmström E, Petersson H, Nyström K, Mason E, Nilsson U. The millennium shift: investigating the relationship between environment and growth trends of Norway spruce and Scots pine in northern Europe. *For Ecol Manag*. 2021;481:118727. <https://acortar.link/JhaxB7>
5. Li C, Song J, Wang J. New approach to calculating tree height at the regional scale. *For Ecosys*. 2021; 8(24):1-19. <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00300-4>
6. Puliti S, McLean J, Cattaneo N, Fischer C, Astrup R. Tree height – growth trajectory estimation using uni – temporal UAV laser scanning data and Deep learning. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 2023; 96(1):37–48. <https://acortar.link/TU39Eg>
7. Manso R, Davidson R, McLean J. Diameter, height and volume increment single tree models for improved Sitka spruce in Great Britain. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 2021; 95(3):391-404. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpab049>
8. Noordermeer L, Bollandasas O, Gobakken T, Naesset E. Direct and indirect site index determination for Norway spruce and Scots pine using bitemporal airborne laser scanner data. *For Ecol Manag*. 2018; 428:104-14. <https://acortar.link/IKpbQ4>
9. Solberg S, Kvaalen H, Puliti S. Age-independent site index mapping with repeated single-tree airborne laser scanning. *Scand J For Res*. 2019; 34(8):763-70. <https://acortar.link/Fb5fqt>
10. Socha J, Hawrylo P, Sterenczak K, Miscicki S, Tyminska-Czabanska L, Mlocek W. Assessing the sensitivity of site index model developed using bi-temporal airborne laser scanning data to different top height estimates and grid cell sizes. *Int J Appl Earth Obs Geoinf*. 2020; 91:102129. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102129>
11. Guerra J, Arellano S, González E, Pascual A, Sandoval V, Altelarrea V. Developing a site index model for p. Pinaster stands in NW Spain by combining bi-temporal ALS data and environmental data. *For Ecol Manag*. 2021;481:118690. <https://acortar.link/LgEIDZ>
12. Gomero F, Cabrera E, De La Cruz R, Osos J. Plan de desarrollo Urbano Acraquia Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; 2006. <https://acortar.link/Yv5QEe>
13. Tello J. Estudio de la dinámica de regeneración natural de un bosque de neblina en el Nor Oriente del Perú. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina; 2016. <https://acortar.link/B1EEit>
14. Steel R, Torrie J. Bioestadística: principios y procedimientos. 2th ed. Distrito Federal, México: McGrawHill; 1988. <https://acortar.link/YRwso7>
15. Montgomery D. Diseño y análisis de experimentos. 1th ed. Ciudad de México, México: Limusa; 2013. <https://acortar.link/vlj4au>
16. Gavilánez F. Diseños y análisis estadísticos para experimentos agrícolas: Ediciones Díaz de Santos; 2021. <https://acortar.link/J85fRL>
17. Ceylan A, Inal C, Şanlıoğlu I. Modern height techniques and comparison of accuracies. *ResearchGate*; 2005. <https://acortar.link/6hXGJU>
18. Juárez Y. Dasometría. 1ra ed. Cocha bamba, Bolivia: Universidad Autónoma Juan Misael Saracho; 2014. <https://acortar.link/aBHc4Z>
19. Fuentes J. Comparación de modelos de altura de la vegetación para estimación de biomasa en un bosque de manglar en el Caribe Colombiano. *Entorno Geográfico*. 2020(19):1-18. <https://doi.org/10.25100/eg.v0i19.9471>
20. Kees S, Loto D, De Tellería S, Azcona M, Manghi E, Gaitan J, et al. Modelo de producción de bosques de *Gonopterodendron sarmientoi* en Argentina. *Actas del VIII Congreso Forestal Latinoamericano*

y V Congreso Forestal Argentino; Ciudad de Mendoza, Argentina: Red Argentina de Ciencia y Tecnología Forestal; 2023. p. 526-8. <https://acortar.link/TVg5zv>

21. Cruzado W. Evaluación del crecimiento e incremento de las plantaciones forestales de *Pinus radiata* D. Don. en el centro poblado Cobro Negro-San Silvestre de Cochán. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca; 2021. <https://acortar.link/dW0may>

22. Senilliani M, Bruno C, Brassiolo M. Curvas de altura dominante e índice de sitio en plantaciones de *Prosopis alba*. *Agriscientia*. 2021; 38(2):13-25. <https://acortar.link/dvjAaE>

23. Jurjević L, Liang X, Gašparović M, Balenović I. Is field-measured tree height as reliable as believed—Part II, A comparison study of tree height estimates from conventional field measurement and low-cost close-range remote sensing in a deciduous forest. *ISPRS Journal of Photogrammetry Remote Sensing*. 2020;169:227-41. <https://acortar.link/H8M05l>