

## ESBELTEZ EN UNA PLANTACIÓN DE *Pinus radiata* D. Don, CON Y SIN TRATAMIENTO SILVICULTURAL EN HUANCABELICA, PERÚ

### Slenderness in a plantation of *Pinus radiata* D. Don, with and without silvicultural treatment in Huancavelica, Peru

Jairo Edson Gutiérrez-Collao<sup>1</sup>, Charles Frank Saldaña-Chafloque<sup>2</sup>, Julio Miguel Ángeles Suazo<sup>3</sup>, Pabel Mariano Meza Mitma<sup>4</sup>, Louise Steven's Kip Pedraza Mayhua<sup>5</sup>, Keyly Marisabel Huaman Bujaco<sup>6</sup>, Jhonatan Alberto Aquino Victoria<sup>7</sup>

#### RESUMEN

El anexo Ustuna, ubicado en Huancavelica-Perú, reporta una inadecuada gestión forestal y mala implementación de tratamientos silviculturales en las plantaciones forestales, lo cual se refleja en el mínimo crecimiento en diámetro y altura de los individuos arbóreos, planteando el objetivo de determinar variables dasométricas en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don (pino), con o sin tratamientos silviculturales de poda, en el anexo Ustuna, Pampas-Tayacaja, Huancavelica. La metodología empleada fue un inventario sistemático estratificado, evaluando ocho parcelas con evidencias de poda y siete parcelas sin evidencias de poda en los individuos arbóreos. Se recopiló información de diámetro a la altura del pecho (m), altura comercial (m), altura total (m), área basal (m<sup>2</sup>), volumen comercial (m<sup>3</sup>) y esbeltez de los individuos arbóreos, los cuales estuvieron en función de valores medios, desviación estándar y coeficiente de variación. Los resultados reportan que en las parcelas donde se observan evidencias de poda, las variables evaluadas son menores a lo recopilado en las parcelas donde no existen indicios de poda en los individuos arbóreos, especialmente la variable esbeltez, debido a que los individuos sin indicios de poda reportan mayor estabilidad que los individuos con indicios de poda. Concluyendo que intensidades de poda merman el crecimiento relativo en variables como diámetro a la altura del pecho, altura comercial y total, área basal, volumen comercial y esbeltez en individuos arbóreos de *Pinus radiata* D. Don (pino).

**Palabras clave:** altura comercial, diámetro a la altura del pecho, plantaciones forestales, poda.

#### ABSTRACT

The Ustuna annex, located in Huancavelica-Perú, reports inadequate forest management and poor implementation of silvicultural treatments in forest plantations, which is reflected in minimal growth in diameter and height of tree individuals. The objective is to determine dendrometric variables in plantations of *Pinus radiata* D. Don (pine), with or without silvicultural pruning treatments, in the Ustuna annex, Pampas-Tayacaja, Huancavelica. The methodology employed was a stratified systematic inventory, evaluating eight plots with evidence of pruning and seven plots without pruning evidence in the tree individuals. Data was collected on diameter at breast height (m), commercial height (m), total height (m), basal area (m<sup>2</sup>), commercial volume (m<sup>3</sup>), and slenderness of the tree individuals, which were based on mean values, standard deviation, and coefficient of variation. The results report that in the plots where pruning evidence was observed, the evaluated variables are lower than those collected in the plots without pruning evidence in the tree individuals, especially the slenderness variable, as the individuals without pruning evidence reported greater stability than those with pruning evidence. It concludes that pruning intensities diminish relative growth in variables such as diameter at breast height, commercial and total height, basal area, commercial volume, and slenderness in tree individuals of *Pinus radiata* D. Don (pine).

**Keywords:** commercial height, diameter at breast height, forest plantations, pruning.

<sup>1</sup>✉ Docente Investigador, Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8984-6245>. [jairo.gutierrez@unat.edu.pe](mailto:jairo.gutierrez@unat.edu.pe)

<sup>2</sup> Docente Investigador, Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9537-2680>. [charlessaldana@unat.edu.pe](mailto:charlessaldana@unat.edu.pe)

<sup>3</sup> Docente Investigador, Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8327-9032>. [julioangeles@unat.edu.pe](mailto:julioangeles@unat.edu.pe)

<sup>4</sup> Estudiante, Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9133-2868>. [60631335@unat.edu.pe](mailto:60631335@unat.edu.pe)

<sup>5</sup> Estudiante, Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú.  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6298-2473>. [71482814@unat.edu.pe](mailto:71482814@unat.edu.pe)

<sup>6</sup> Estudiante, Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú.  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6916-7653>. [71390577@unat.edu.pe](mailto:71390577@unat.edu.pe)

<sup>7</sup> Estudiante, Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú.  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0732-7371>. [71310437@unat.edu.pe](mailto:71310437@unat.edu.pe)

## INTRODUCCIÓN

Los individuos arbóreos son considerados una solución factible para la mitigación de la crisis climática (Manohar et al., 2024). En tal sentido, las masas boscosas naturales se reemplazaron por plantaciones en un reto de restauración (Kremer et al., 2022), producto de su relevancia económica y ecológica, por su rol importante en la producción maderable y en servicios ecosistémicos como almacenamiento de carbono (Altamirano-Fernández et al., 2024), prevención de la erosión edáfica y reducción de la pérdida de la diversidad biológica (Cifuentes-Croquevielle et al., 2020); cuya silvicultura es nueva relativamente, resultando imprescindible su monitoreo y evaluación (Nguyen et al., 2022), debido a que los tratamientos silviculturales permiten apoyar en contrarrestar las consecuencias del cambio del clima al contribuir en el flujo de dióxido de carbono a partir de la superficie del suelo (Kc et al., 2021).

El requerimiento de productos industriales procedentes de los individuos arbóreos está ocasionando un incremento en la superficie de tierra cubierta por monocultivos de crecimiento rápido a nivel mundial (Larrañaga et al., 2021), que cumplen roles cruciales en la disminución del calentamiento global y en la captura de carbono (Altamirano-Fernández et al., 2023), entre las que destaca *Pinus radiata* D. Don (pino), que es una especie exótica, muy comercial, con múltiples ventajas y valiosa en el mercado mundial, constituyéndose en una fuente de madera e ingreso económico para las comunidades rurales (FAO y PNUMA, 2020; Kakraba et al., 2022), proveyendo también servicios de provisión de madera, leña, fibras, resina, combustible, hongos comestibles y los piñones; y servicios de regulación, tales como control de la erosión y regulación hídrica (Dillen et al., 2016; Schimleck et al., 2018; Torres et al., 2021); siendo la especie de coníferas exóticas de madera suave con más plantaciones en el mundo (Mead, 2013).

A nivel mundial, la gestión forestal se ha convertido cada vez con mayor efectividad para obtener rendimientos maderables altos (Jones et al., 2023). El estudio y gestión de los bosques plantados o plantaciones forestales se efectúa a través de las estimaciones con precisión de los volúmenes del tronco (Gonzalez-Benecke, 2021), lo que se comprende como dasometría (Pienaar et al., 2024), que es utilizada en el presente y persistirá en muchos años con el fin de incrementar la productividad forestal en las plantaciones comerciales (Akello et al., 2024), a

través de mediciones de diámetros a la altura del pecho, volúmenes en pie, entre otros, los cuales son esenciales en la definición de planes de manejo y en la toma de decisiones operativas (Cosenza et al., 2019). Asimismo, existe un índice vital utilizado en la gestión forestal para la predicción del daño por viento en varias especies, el cual se denomina esbeltez (Watt y Moore, 2023), el cual expresa la arquitectura de los individuos arbóreos y se utilizan en la descripción cuantitativa en bosques plantados (Aguilar, 2005).

Los individuos arbóreos de *P. radiata* pueden reportar buen diámetro a la altura del pecho y excelentes alturas comerciales y totales; sin embargo, presenta muchos nudos; y en los mercados del mundo, la madera libre de nudos registra un valor superior; para ello, la poda es un tratamiento silvicultural vital, que consiste en eliminar ramas de un individuo arbóreo en pie, llevándose a cabo para promover una adecuada forma del individuo (Barrio et al., 2009), porque limitan los defectos y nudos relacionados a las ramas en la parte central de los fustes (Hevia, 2017). En consecuencia, la poda forestal incrementa la calidad de madera, la calidad de individuos arbóreos y fomenta el control de sus variables dimensionales, facilitando el acceso a plantaciones jóvenes, reduciendo el peligro y consecuencias de incendios, facilitando y disminuyendo los costos de posteriores tratamientos silviculturales (Meza-Montoya y Torres-Córdoba, 2004).

El anexo Ustuna del distrito Pampas, ubicado en la provincia Tayacaja, de la región Huancavelica-Perú, enfrenta el reto de la gestión de plantaciones forestales, específicamente, en términos maderables; por lo que, la evaluación dasométrica es importante para cerrar brechas en dichos términos, y permitirían que las empresas de índole forestal puedan mejorar sus prácticas a una gestión ecológica cumpliendo con los requerimientos actuales industriales (Püschel-Hoeneisen y Simonetti, 2012). En tal sentido, los individuos arbóreos maderables, al cumplir los aspectos dasométricos, serían aprovechados de manera comercial, en bienestar de la comunidad andina de Pampas. La investigación tiene como objetivo, determinar variables dasométricas en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don (pino), con o sin tratamientos silviculturales de poda, en el anexo Ustuna, Pampas-Tayacaja, Huancavelica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación de la zona de estudio

La investigación se realizó en el anexo Ustuna, distrito

Pampas, provincia Tayacaja, región Huancavelica, ubicada en las siguientes coordenadas geográficas: 12° 23' 41" Latitud Sur y 74° 52' 00" Longitud Oeste, a 3 252 m s.n.m. En la Figura 1 se observa la ubicación geográfica de la plantación de *P. radiata*. El distrito

Pampas presenta un clima templado (inviernos secos y lluvias moderadas), con temperatura media anual que oscilan entre 13 y 22 °C, precipitaciones que varían entre 500 y 1 500 mm anuales (Chávez-Merino et al., 2024; Saldaña-Chafloque et al., 2024).

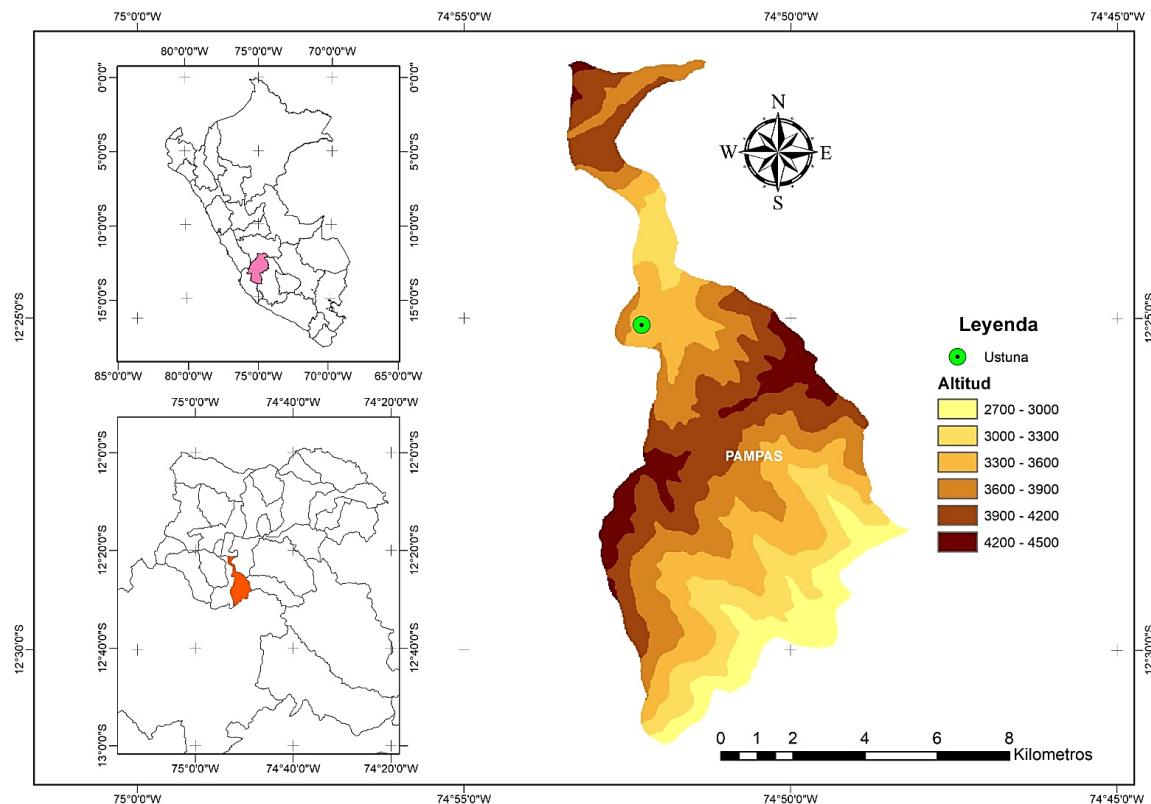


Figura 1. Mapa de ubicación de la plantación forestal de *P. radiata*.

## Metodología

### Población, muestra y muestreo

La plantación de 30 años de edad, está constituida por una población (N) de 800 individuos arbóreos de *P. radiata* (pino), establecidos en el anexo Ustuna. Con el porcentaje de éxito de 0.5 (p), confiabilidad del 95% ( $Z=1.96$ ), 5% de error permisible (d), y con la aplicación de la siguiente Ecuación 1 para población conocida (Hernández et al., 2014) se determinó que la muestra fue de 260 individuos arbóreos de *P. radiata*.

$$n = \frac{N^2 pq}{d^2(N-1) + Z^2 pq} \quad (1)$$

Se efectuó un muestreo aleatorio al azar estratificado (Vega, 2013), en el cual, los individuos arbóreos evaluados fueron codificados, contemplando los criterios de inclusión. Las evaluaciones se realizaron en época de estiaje, en los meses de junio hasta julio del 2024.

### Colecta botánica

Se realizó la colecta botánica de un par de individuos, los cuales fueron enviados e identificados al Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

### Registro de información

Se seccionó la plantación forestal en dos estratos, las cuales fueron área con evidencia de haberse aplicado una poda intensiva, y otra área sin indicios de haberse aplicado la poda. Se delimitó el área de la plantación y de cada estrato, instalándose al azar parcelas circulares de 6.91 m de radio (150 m<sup>2</sup>) en cada estrato, de forma independiente (Soares et al., 2006). En el estrato con evidencia de poda intensiva, las dimensiones fueron de 100 x 200 m (2 ha), por lo tanto, con un distanciamiento de 30 m entre parcelas, el número de parcelas instaladas fue 8; mientras que, en el estrato sin indicio de poda, las dimensiones fueron de 100 x 150 m (1.5 ha), por ende, con un distanciamiento

de 30 m entre parcelas, el número de parcelas instaladas fueron 7. La investigación se realizó a cabo a través del registro dasométrico del diámetro a 1.30 m de altura desde el nivel del suelo, utilizando cinta diamétrica; y del registro de altura, utilizando estaca de 1.50 m, que se proyectó hasta calcular la altura comercial y total de los individuos arbóreos. Se consideraron aquellos individuos arbóreos con diámetros superiores a los 30 cm. El área basal se determinó utilizando la Ecuación 2 (Blanco y Eufrade, 2023):

$$AB = \left( \frac{\pi}{4} \times DAP^2 \right) \quad (2)$$

Dónde: AB = área basal ( $m^2$ ); DAP = diámetro a 1.30 m de altura desde el suelo (m).

El volumen comercial se determinó utilizando la Ecuación 3 (Blanco y Eufrade, 2023):

$$VC = AB \times Hc \times 0.65 \quad (3)$$

Dónde: AB = área basal ( $m^2$ ); Hc = altura comercial (m).

La esbeltez se determinó utilizando la Ecuación 4 (Aguirre et al., 2014):

$$E = \frac{Ht}{DAP} \quad (4)$$

Dónde: E = esbeltez ( $m m^{-1}$ ); Ht = altura total (m); DAP = diámetro a 1.30 m de altura desde el suelo (m).

#### Análisis estadístico

Las variables de diámetro a la altura del pecho, altura comercial, área basal, volumen comercial e índice de esbeltez se analizaron en función de los valores promedios y la dispersión. Los resultados fueron analizados mediante estadísticos descriptivos con el programa SPSS V.20.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Diámetro a la altura del pecho y área basal promedio por estrato

El estrato sin evidencias de poda reportó  $0.510 \pm 0.07$  m de diámetro a la altura del pecho, con 12.9% de coeficiente de variación; mientras que el estrato con indicios de poda registró  $0.420 \pm 0.03$  m de diámetro a la altura del pecho, con 7.14% de coeficiente de variación (Tabla 1).

Tabla 3. Diámetro a la altura del pecho por estrato de evaluación.

Estratos	Mínimo (m)	Máximo (m)	Coeficiente de variación (%)	Media $\pm$ desviación estándar (m)
Sin poda	0.300	0.700	12.90	$0.510 \pm 0.07$
Con poda	0.400	0.640	7.14	$0.420 \pm 0.03$

El estrato sin evidencias de poda reportó  $0.210 \pm 0.04$   $m^2$  de área basal, con 20.35% de coeficiente de variación; mientras que el estrato con indicios de poda

registró  $0.140 \pm 0.02$   $m^2$  de área basal, con 16.16% de coeficiente de variación (Tabla 2).

Tabla 2. Área basal por estrato de evaluación.

Estratos	Mínimo ( $m^2$ )	Máximo ( $m^2$ )	Coeficiente de variación (%)	Media $\pm$ Desviación estándar ( $m^2$ )
Sin poda	0.070	0.390	20.35	$0.210 \pm 0.04$
Con poda	0.130	0.320	16.16	$0.140 \pm 0.02$

Los resultados muestran que la intensidad de poda resultó desfavorable en el crecimiento en diámetro a la altura del pecho; no coincidiendo con Salas et al. (2016), quienes afirman que en Chile, el *P. radiata* es gestionada como monocultivos, variando sus tratamientos silviculturales de manera considerable de acuerdo con el sitio, el producto final, entre otros.

#### Altura comercial y total por estrato de investigación

El estrato sin evidencias de poda reportó  $8.53 \pm 1.73$  m de altura comercial, con 20.34% de coeficiente de variación; mientras que el estrato con indicios de

poda registró  $5.39 \pm 1.55$  m de altura comercial, con 28.79% de coeficiente de variación (Tabla 3).

Tabla 3. Altura comercial por estrato de evaluación.

Estratos	Mínimo (m)	Máximo (m)	Coeficiente de variación (%)	Media ± Desviación estándar (m)
Sin poda	1.80	14.00	20.34	8.53 ± 1.73
Con poda	2.00	9.00	28.79	5.39 ± 1.55

El estrato sin evidencias de poda reportó  $18.33 \pm 2.31$  m de altura total, con 12.63% de coeficiente de variación; mientras que el estrato con indicios de poda

registró  $18.12 \pm 1.32$  m de altura total, con 7.31% de coeficiente de variación (Tabla 4).

Tabla 4. Altura total por estrato de evaluación.

Estratos	Mínimo (m)	Máximo (m)	Coeficiente de variación (%)	Media ± Desviación estándar (m)
Sin poda	12.70	22.00	12.63	18.33 ± 2.31
Con poda	15.00	21.00	7.31	18.12 ± 1.32

Los resultados muestran que la intensidad de poda resultó desfavorable en el crecimiento en alturas; no coincidiendo con Salas et al. (2016), quienes afirman que en Chile, el *P. radiata* es gestionada como monocultivos, variando sus tratamientos silviculturales de manera considerable de acuerdo con el sitio, el producto final, entre otros.

### Volumen comercial por estrato de investigación

El estrato sin evidencias de poda reportó  $1.18 \pm 0.35$  m<sup>3</sup> de volumen comercial, con 29.60% de coeficiente de variación; mientras que el estrato con indicios de poda registró  $0.49 \pm 0.16$  m<sup>3</sup> de volumen comercial, con 31.66% de coeficiente de variación (Tabla 5).

Tabla 5. Volumen comercial por estrato de evaluación.

Estratos	Mínimo (m)	Máximo (m)	Coeficiente de variación (%)	Media ± Desviación estándar (m)
Sin poda	0.13	2.08	29.60	1.18 ± 0.35
Con poda	0.16	1.03	31.66	0.49 ± 0.16

De acuerdo con la edad de los pinos evaluados, la tasa de crecimiento en volumen oscila entre 0.14 y 0.37 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; difiriendo con Espinoza et al. (2003), quienes reportaron tasas de crecimiento volumétrico entre 18 y 35 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Dicha diferencia abismal es un indicador de la mala gestión forestal aplicada en la plantación, especialmente en la poda, debido a que Salas et al. (2016) menciona que, en la producción de madera clara se recomiendan realizar dos a tres podas con el fin de mantener una adecuada calidad del fuste, limpio en alturas que varían entre 4 y 6 m, cortándose a edades que varían entre 20 y 24 años, con producciones maderables entre 450 y 600 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Además, cabe resaltar que de acuerdo a la edad de la

plantación ya se podría aplicar aclareos selectivos y sistemáticos, así como también cortas de regeneración; debido a que, desde el enfoque económico, las distintas acciones silviculturales resultan mayormente positivas, con ciertas diferencias en base al tipo de intervención (Pignatti et al., 2022).

### Esbeltz por estrato de investigación

El estrato sin evidencias de poda reportó  $35.66 \pm 5.02$  de esbeltez, con 14.09% de coeficiente de variación; mientras que el estrato con indicios de poda registró  $43.17 \pm 4.11$  de esbeltez, con 9.53% de coeficiente de variación (Tabla 6).

Tabla 6. Esbeltez por estrato de evaluación.

Estratos	Mínimo	Máximo	Coeficiente de variación (%)	Media ± Desviación estándar
Sin poda	26.21	47.95	14.09	35.66 ± 5.02
Con poda	28.33	51.78	9.53	43.17 ± 4.11

El estrato sin evidencias de poda reportó individuos arbóreos más estables en relación a los individuos arbóreos del estrato con indicios de poda; esto basado a que valores de esbeltez mayores que 80 se refiere a no estabilidad y posible ruptura de individuos arbóreos (López, 2008). Los individuos arbóreos del estrato sin

poda, al reportar valores bajos, tienden a tener una forma más cónica, que les permite tener más resistencia al efecto de vientos fuertes (Arias, 2005). Los valores adecuados del estrato sin poda es un reflejo de que las densidades del rodal (regímenes silviculturales) y las calidades de sitio influyen en el

crecimiento de *Pinus radiata* D. Don (FAO y PNUMA, 2020); por tal motivo, las variaciones en la esbeltez suceden mediante sitios como resultados a gradientes del ambiente (Watt y Kischbaum, 2011), de manera típica como respuesta a los cambios en la densidad de las masas boscosas (Waghorn et al., 2007).

Por otro lado, la Figura 2 presenta el Biplot del Análisis de Componentes Principales (ACP), en la cual permite visualizar las relaciones entre las parcelas evaluadas y las variables dendrométricas consideradas. De acuerdo con los resultados, las parcelas en las que no se aplicó el tratamiento silvicultural de poda (3, 4 y 5) muestran una mayor afinidad con las variables diámetro a la altura del pecho (DAP), área basal y volumen comercial. Esto sugiere que la ausencia de poda podría haber favorecido un mayor desarrollo en el diámetro y volumen de los árboles.

En contraste, las parcelas 1, 2, 8 y 9 (Figura 2), donde sí se realizó la poda, presentan una mayor asociación con la variable altura comercial, lo cual podría indicar que este tratamiento silvicultural influye positivamente en el crecimiento en altura comercial del fuste, a pesar de no incrementar significativamente el DAP o el volumen comercial en el corto plazo.

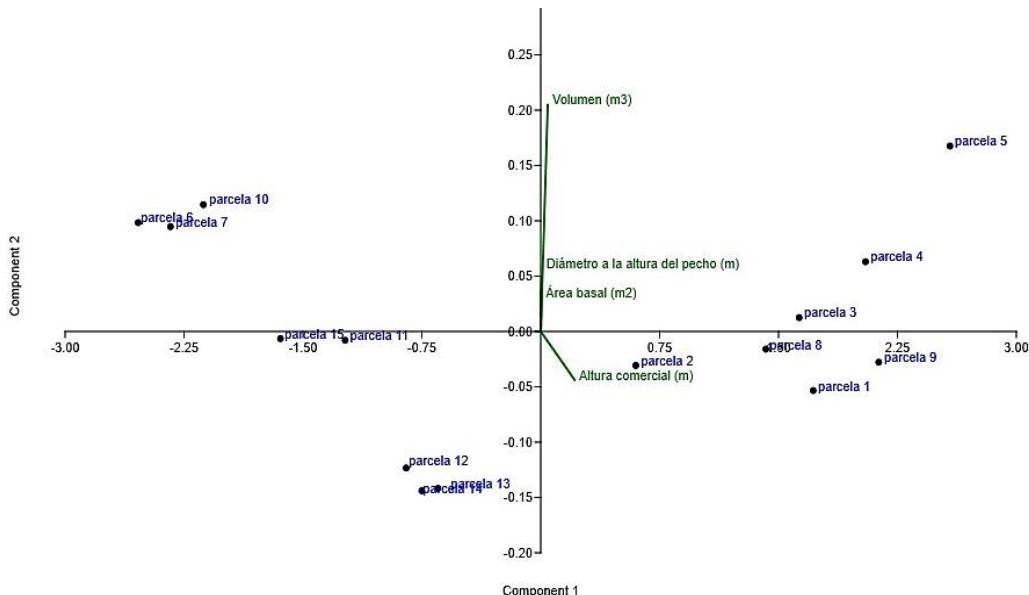


Figura 2. Biplot del análisis de componente principal de la investigación.

El componente principal 1 (CP1) explica el 99,7% de la varianza total, lo que indica que este componente concentra prácticamente toda la información relevante del conjunto de datos. En consecuencia, los componentes 2, 3 y 4 al explicar porcentajes mínimos de la variabilidad, no aportan información significativa al análisis y, por tanto, no fueron considerados para la interpretación.

Estos hallazgos coinciden con estudios similares que aplican Biplots derivados de ACP para evaluar variables dendrométricas en comunidades forestales elaborados. Por ejemplo, investigaciones como las de Mahmoud et al. (2020) y Vera-Marín y Sánchez-Sáenz (2016) destacan la utilidad del ACP en la identificación de patrones de crecimiento, esbeltez y otras características morfológicas de la flora, facilitando la toma de decisiones en el manejo forestal sostenible.

Por otro lado, la Figura 3 presenta el análisis de clusterización bidireccional aplicado a la evaluación de la esbeltez en una plantación de *Pinus radiata*, mediante la agrupación tanto de parcelas como de variables dendrométricas. Esta técnica estadística multivariada permite observar patrones de similitud y diferencia entre unidades experimentales y características estructurales del bosque, proporcionando una visión integral del comportamiento de crecimiento según el tratamiento aplicado.

De acuerdo con los resultados, se observa que las parcelas 1, 2, 3, 4, 5, 8 y 9 (Figura 3), en las cuales no se realizó poda, presentan una mayor afinidad con las variables altura y volumen comerciales. Esto sugiere que la ausencia de intervenciones de poda ha favorecido el crecimiento en altura y volumen de los árboles en dichas parcelas, probablemente debido a una mayor retención de follaje y mayor superficie fotosintética activa.

En contraste, las parcelas 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14 y 15 (Figura 3), que sí fueron sometidas al tratamiento silvicultural de poda, se agrupan en un clúster distinto, presentando valores inferiores en las variables mencionadas. Sin embargo, es importante señalar que

no se evidencian diferencias significativas en las variables diámetro a la altura del pecho (DAP) y área basal, tanto en parcelas con poda como en aquellas sin intervención, lo que indica que dichas variables no se ven directamente influenciadas por la poda en esta etapa de crecimiento.

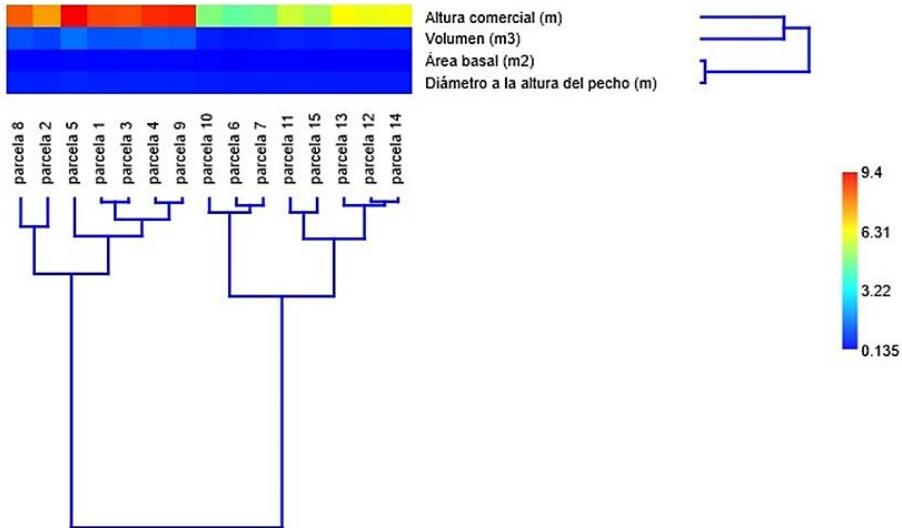


Figura 3. Clusterización bidireccional en dos estratos de una plantación de *Pinus radiata*.

El uso de técnicas de agrupamiento jerárquico, como la clusterización bidireccional, ha sido respaldado por estudios recientes (Araújo y Marjotta-Maistro, 2023), los cuales destacan su utilidad para evaluar el comportamiento estructural de especies forestales en función de tratamientos silviculturales. En particular, esta técnica es útil para el análisis de esbeltez, ya que permite integrar múltiples variables (altura, DAP y volumen) en un mismo modelo visual de interpretación.

## CONCLUSIONES

Las plantaciones donde no existen registros de podas reportó mayores diámetros, alturas comerciales y valores más bajos de esbeltez en comparación con las plantaciones donde existen vestigios de podas. Dichas diferencias se reflejan en el volumen maderable determinado, debido a que en las plantaciones donde no se han registrado podas, el volumen maderable promedio resultó  $1.18 \text{ m}^3$ , siendo superior a los  $0.49 \text{ m}^3$  obtenido en las plantaciones donde se han realizado actividades de poda.

## BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, DA. 2005. Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales (en línea). Revista Forestal Mesoamericana Kurú 2(5):19-32. Disponible en <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/543/469>

Aguirre, MZ; Gaona, OT; Palacios, HB. 2014. Dinámica de crecimiento de especies forestales establecidas en el Jardín Botánico El Padmi, Zamora Chinchipe, Ecuador (en línea). CEDAMAZ 4(1):62-75. Disponible en <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/239>

Akello, S; Du Toit, B; Balboni, BM; Wessels, CB. 2024. A review of the effect of fertilization on the wood properties of *Pinus* tres (en línea). Eur J Forest Res 143:1291-1305. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10342-024-01709-6>

Altamirano-Fernández, A; Rojas-Palma, A; Espinoza-Meza, S. 2023. Optimal Management Strategies to Maximize Carbon Capture in Forest Plantations: A Case Study with *Pinus radiata* D. Don (en línea). Forests 14(1):82. Disponible en <https://doi.org/10.3390/f14010082>

Altamirano-Fernández, A; Rojas-Palma, A; Espinoza-Meza, S. 2024. Optimal Rotation Age in Fast Growing Plantations: A Dynamical Optimization Problem (en línea). Bull Math Biol 86:51. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s11538-024-01262-8>

Araújo, HM; Marjotta-Maistro, MC. 2023. Profiling the consumer of agroecological products using cluster analysis (en línea). Revista de Economía e Sociología Rural 61(1):1-15. Disponible en <https://www.scielo.br/j/resr/a/jxVwFMryrftBVBf7YxKn3G/?format=pdf&lang=en>

Arias, D. 2005. Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales (en línea). Revista Forestal Mesoamericana Kurú 1(2). Disponible en <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/543/469>

- Barrio, M; Castedo, F; Majada, J; Hevia, A. 2009. Manual básico de la poda y formación de los árboles forestales (en línea). Madrid, España. Editorial Mundi-Prensa. Disponible en <https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484762867/manual-basico-de-la-poda-y-formacion-de-los-arboles-forestales>
- Blanco, LA; Eufrade, H. 2023. Dendrometria e Inventário Florestal com Aplicações em R (en línea). Botucato (ed). 1º edición. Disponible en <https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/978-65-00-61090-1.pdf>
- Chávez-Merino, IP; Gutiérrez-Collao, JE; Saldaña-Chafloque, CF; Palomino-Santos, ER; Chavarría-Márquez, EY; Pantoja-Medina, B. 2024. Empleo de biol con desechos de pescado en el cultivo de *Lactuca sativa* en Huancavelica (en línea). Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales 11(2):30-36. Disponible en <https://doi.org/10.53287/iddb9973jm14n>
- Cifuentes-Croqueville, C; Stanton, DE; Armesto, JJ. 2020. Pérdida de diversidad de invertebrados en el suelo y cambios funcionales en suelos de bosques templados reemplazados por plantaciones de pinos exóticos (en línea). Sci Rep 10:7762. Disponible en <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64453-y>
- Cosenza, DN; Soares, P; Guerra-Hernández, J; Pereira, L; González-Ferreiro, E; Castedo-Dorado, F; Tomé, M. 2019. Comparing Johnson's S<sub>B</sub> and Weibull functions to model the diameter distribution of forest plantations through ALS Data (en línea). Remote Sens 11(23):2792. Disponible en <https://doi.org/10.3390/rs11232792>
- Dillen, JR; Dillén, S; Hamza, MF. 2016. Pulp and paper: wood sources (en línea). S. Hashmi (Ed.), Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. Oxford: Elsevier. Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.09802-7>
- Espinosa, M; Acuña, E; Cancino, J; Muñoz, F. 2003. Acumulación de carbono de las plantaciones de *Pinus radiata* en Chile (en línea). Québec, Canadá. Disponible en <https://www.fao.org/4/XII/0754-B2.htm>
- FAO; PNUMA. 2020. El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas (en línea). Roma. Disponible en <https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- Gonzalez-Benecke, CA; Fernández, MP; Albaugh, TJ; Ahumada, R; Bown, HE; Gayoso, J; Gerding, V; Mardones, OB; Rodríguez, AR; Rubilar, R. 2021. General above-stump volume and biomass functions for *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens* (en línea). Biomass and Bioenergy 155. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106280>
- Hernández, R; Fernández, C; Baptista, P. 2014. Metodología de la investigación (en línea). McGraw-Hill (ed.) 6º edición. Disponible en <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-metodolog%C3%A1da%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Hevia, A. 2017. Influencia de la poda en el desarrollo de masas de *Pinus radiata* D. Don y *Pinus pinaster* Aiton en Asturias (en línea). Conference: 7mo Congreso Forestal Español. ISBN 978-84-941695-2-6. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=121408>
- Jones, AG; Cridge, A; Fraser, S; Holt, L; Klinger, S; McGregor, KF; Paul, T; Payn, T; Scott, MB; Yao, RT; Dickinson, Y. 2023. Transitional forestry in New Zealand: re-evaluating the design and management of forest systems through the lens of forest purpose (en línea). Biol. Rev. 98:1003-1015. Disponible en <https://doi.org/10.1111/brv.12941>
- Kakraba, L; Boadu, KB; Govina, JK. 2022. Tissue and resin canal biometry of *Pinus radiata* D. Don. and *Pinus caribaea* Morelet wood from plantation forest (en línea). J Indian Acad Wood Sci 19:45-51. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s13196-022-00298-4>
- Kc, M; Mason, EG; Bown, HE. 2021. The influence of stocking levels, clone, fertilization, and weed control on surface CO<sub>2</sub> efflux in a mid-rotation *Pinus radiata* D. Don plantation in Canterbury, New Zealand (en línea). J. For. Res 32:2567-2575. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s11676-021-01298-9>
- Kremer, K; Promis, Á; Bauhus, J. 2022. Natural advance regeneration of native tree species in *Pinus radiata* plantations of South-Central Chile suggests potential for a passive restoration approach (en línea). Ecosystems 25:1096-1116. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00704-x>
- Larrañaga, A; Martínez, A; Albariño, R; Casas, JJ; Ferreira, V; Príncipe, R. 2021. Effects of exotic tree plantations on plant litter decomposition in streams (en línea). Swan, C.M., Boyero, L., Canhoto, C. (eds) The Ecology of Plant Litter Decomposition in Stream Ecosystems. Springer, Cham. Disponible en [https://doi.org/10.1007/978-3-030-72854-0\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-72854-0_14)
- López, PC. 2008. Dasometría (en línea). Tema N° 20: Estudio de la espesura de las masas forestales. Diapositivas. 40 p. Disponible en [https://moodle.upm.es/en-abierto/pluginfile.php/232/mod\\_label/intro/Tema20.pdf](https://moodle.upm.es/en-abierto/pluginfile.php/232/mod_label/intro/Tema20.pdf)
- Mahmoud, AB; Mäser, P; Kaiser, M; Hamburger, M; Khalid, S. 2020. Mining Sudanese medicinal plants for antiprotozoal agents (en línea). Frontiers in Pharmacology 11(865):1-14. Disponible en <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.00865>
- Manohar, KA; Shukla, G; Shahina, NN; Sivasankarreddy, K; Ravather, SS; Chakravarty, S. 2024. Conventional versus non-conventional methods of propagation of forest tree species: applications and limitations (en línea). Thomas TD., Razdan, MK., Kumar, A. (eds). Biotechnological Approaches for Sustaining Forest Trees and Their Products. Springer, Singapore. Disponible en [https://doi.org/10.1007/978-981-97-4363-6\\_18](https://doi.org/10.1007/978-981-97-4363-6_18)
- Mead, DJ. 2013. Sustainable management of *Pinus radiata* plantations (en línea). FAO Forestry Paper No. 170. Rome: FAO. Disponible en <https://www.fao.org/4/i3274e/i3274e.pdf>
- Meza-Montoya, A; Torres-Córdoba, G. 2004. Efecto de la poda forestal en la calidad de la madera (en línea). Revista Forestal Mesoamericana Kurú 1(1):71-73.

- Disponible en  
<https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/601/526>
- Nguyen, L; Alwi, A; Japarudin, Y; Moltchanova, E; Bloomberg, M. 2022. Using miniature plots to assess the effects of soils on the productivity of tropical plantation forests: a case study from Sabah, Malaysia (en línea). *New Forests* 53:353-369. Disponible en  
<https://doi.org/10.1007/s11056-021-09860-3>
- Pienaar, LO; Calama, R; Olivari, J; Wellstein, C; Pretzsch, H; Du Toit, B. 2024. Allometric equations for biomass and carbon pool estimation in short rotation *Pinus radiata* stands of the Western Cape, South Africa (en línea). *Eur J Forest Res.* Disponible en  
<https://doi.org/10.1007/s10342-024-01730-9>
- Pignatti, G; Verani, S; Sperandio, G. 2022. Models for Economic Evaluation of Silvicultural Interventions in Radiata Pine Plantations in Italy (en línea). *Forests* 13:1377. Disponible en  
<https://doi.org/10.3390/f13091377>
- Püschel-Hoeneisen, N; Simonetti, JA. 2012. Forested habitat preferences by Chilean citizens: Implications for biodiversity conservation in *Pinus radiata* plantations (en línea). *Revista Chilena de Historia Natural* 85:161-169. Disponible en  
<http://doi.org/10.4067/S0716-078X2012000200002>
- Salas, C; Donoso, PJ; Vargas, R; Arriagada, CA; Pedraza, R; Soto, DP. 2016. The forest sector in Chile: an overview and current challenges (en línea). *J. For* 114(5):562-571. Disponible en <https://dx.doi.org/10.5849/jof.14-062>
- Saldaña-Chafloque, CF; Mostacero-León, J; De la Cruz-Castillo, AJ; Castillo-Zavala, JL; Gutiérrez-Collao, JE; Álvarez-Reyes, JC. 2024. Medicina herbolaria empleada en las enfermedades del sistema nervioso en la sierra central del Perú (en línea). *Manglar* 21(4):489-497. Disponible en  
<http://doi.org/10.57188/manglar.2024.053>
- Schimleck, L; Antony, F; Dahlen, J; Moore, J. 2018. Wood and fibre quality of plantation – grown conifers: a summary of research with an emphasis on loblolly and *P. radiata* (en línea). *Forests* 9(6):298. Disponible en  
<https://doi.org/10.3390/f9060298>
- Soares, CPB; Paula, F; Souza, AL. 2006. Dendrometría e inventário florestal (en línea). Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. Disponible en  
<https://es.scribd.com/document/455588498/Livro-Dendrometria-e-Inventario-Florestal-pdf>
- Torres, I; Moreno, JM; Morales-Molino, C; Arianoutsou, M. 2021. Servicios ecosistémicos que proporcionan los pinares (en línea). Ne'eman, G., Osem, Y. (eds) Los pinos y sus ecosistemas forestales mixtos en la cuenca mediterránea. Manejo de Ecosistemas Forestales 38. Disponible en  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-63625-8\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-030-63625-8_29)
- Vega, A. 2013. Evaluación de las plantaciones forestales comerciales establecidas entre 1994 y 1996 en Los Tuxtlas, Veracruz (en línea). Tesis profesional. Universidad Veracruzana. Xalapa de Enríquez, Veracruz. 104 p. Disponible en  
<https://cdigital.uv.mx/server/api/core/bitstreams/01fcod80-e216-4314-998c-3a62f497e233/content>
- Vera-Marín, B; Sánchez-Sáenz, M. 2016. Plantas medicinales y predictibilidad de uso en algunas veredas del corregimiento de San Cristóbal (Antioquia), Colombia (en línea). *Actualidades Biológicas* 38(105):167-180. Disponible en  
<https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v38n105a04>
- Waghorn, MJ; Watt, MS; Mason, EG. 2007. Influence of tree morphology, genetics, and initial stand density on outerwood modulus of elasticity of 17-year-old *Pinus radiata* (en línea). *For. Ecol. Manag.* 244:86-92. Disponible en  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.057>
- Watt, MS; Kirschbaum, MUF. 2011. Moving beyond simple linear allometric relationships between tree height and diameter (en línea). *Ecol. Model.* 222:3910-3916. Disponible en  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.10.011>
- Watt, MS; Moore, JR. 2023. Modeling spatial variation in radiata pine slenderness (height/diameter ratio) and vulnerability to wind damage under current and future climate in New Zealand (en línea). *Front. For. Glob. Change* 6:1188094. Disponible en  
<https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1188094>

Artículo recibido en: 05 de noviembre del 2024  
Aceptado en: 10 de agosto del 2025